

Samenwerken voor zoet water Schouwen-Duiveland - van pilots naar grootschalige toepassing

Eindrapport



Deltares **KWR**



Samenwerken voor zoet water Schouwen-Duiveland - van pilots naar grootschalige toepassing

Eindrapport

Foto kaft: Luchtfoto van Schouwen-Duiveland. Edwin Parea Fotografie, Middelburg.

Auteur(s)

V.P. Kaandorp (Deltares)

T. Davids (Deltares)

P.G.B. de Louw (Deltares)

A. Roelandse (Acacia Water)

I. Noordegraaf (Acacia Water)

H.J. Krajenbrink (KWR)

G. Schout (KWR)

K.J. Raat (KWR)

P.C. van Veelen (Buro Waterfront)

Het project "Samenwerken voor Zoet Water-van pilots naar grootschalige toepassing" is gesubsidieerd door een EU-bijdrage, de provincie Zeeland en gemeente Schouwen-Duiveland.



Provincie
Zeeland



Gemeente
Schouwen-Duiveland



"Europees Landbouwfonds voor Plattelandsontwikkeling: Europa investeert in zijn platteland".

Samenwerken voor zoet water Schouwen-Duiveland - van pilots naar grootschalige toepassing

Eindrapport

Opdrachtgever	Gemeente Schouwen-Duiveland
----------------------	-----------------------------

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	30-06-2022
Projectnummer	11205909-000
Document ID	11205909-000-BGS-0003
Pagina's	59
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	V.P. Kaandorp (Deltares) T. Davids (Deltares) P.G.B. de Louw (Deltares) A. Roelandse (Acacia Water) I. Noordegraaf (Acacia Water) H.J. Krajenbrink (KWR) G. Schout (KWR) K.J. Raat (KWR) P.C. van Veelen (Buro Waterfront)	

Samenvatting

De landbouw op Schouwen-Duiveland is afhankelijk van het zoete water dat valt via neerslag en in de wortelzone of in de ondergrond wordt opgeslagen. Er is geen aanvoer van zoet water naar het eiland. Door klimaatverandering neemt het risico van droogte en verzilting toe als gevolg van veranderende weerpatronen en zeespiegelstijging. Het wordt daardoor steeds belangrijker om de zoetwatervoorraad in de ondergrond te versterken en beschikbaar te hebben tijdens droge perioden.

Een groot deel van Schouwen-Duiveland bestaat uit laaggelegen poelgronden, zware kleilandschappen met een hoge kweldruk. Hierdoor is er een kleine regenwaterlens in de percelen aanwezig. Daarnaast zijn er kreekkruggen aanwezig. De kreekrug is zandiger en ligt hoger waardoor in de ondergrond een diepe zoetwaterlens is gevormd. Op basis van het type gebied kan de ondergrond op verschillende manieren worden gebruikt in de zoetwatervoorziening:

1. Versterken van dunne regenwaterlenzen en tegengaan verzilting,
2. Vergroten van de zoetwatervoorraad in de ondergrond met als doel om deze voorraad duurzaam te gebruiken,
3. Verzamelen van zoet drainagewater.

Er zijn hiervoor technieken ontwikkeld en als pilots getest in Zeeland en elders in Nederland, zoals peilgestuurde drainage en het kreekrug infiltratie systeem. Omdat deze pilots nog niet zijn aangepast en doorontwikkeld voor de specifieke condities van Schouwen-Duiveland is het voor veel ondernemers nog te risicovol om zelfstandig een investering te doen.

Er zijn verschillende belemmeringen waardoor toepassing en opschaling achterblijft. De belangrijkste zijn onvoldoende kennis van het bodem- en watersysteem en kansrijke maatregelen, de onzekerheid over economische en juridische haalbaarheid, kennis van risico's, beperkingen vanuit waterkwaliteitsoogpunt en de wisselende urgentie. Het project Samenwerken voor zoet water, van pilots naar grootschalige toepassing van zoetwateropslag in de ondergrond van Schouwen-Duiveland (2020 – 2022) had als doel om de kennis van technieken te vertalen naar methoden en standaarden specifiek voor Schouwen-Duiveland waarmee grootschalige toepassing kan worden versneld. Om dit doel te bereiken zijn quickscans uitgevoerd en 5 haalbaarheidsstudies uitgevoerd waarbij kennis is ontwikkeld over de haalbaarheid van technieken en aanpassingen zijn voorgesteld die passen bij de specifieke bodem- en watercondities van Schouwen-Duiveland.

Om toepassing en opschaling van deze technieken te versnellen zijn tools opgezet. Een methodiek is ontwikkeld voor toepassing en opschaling, inclusief ervaringen en lessons-learned. Er zijn overzichten gemaakt van openbare data voor toepassing van de methodiek, van de technieken in een Toolbox oplossingen en van de aandachtspunten in wet- en regelgeving. Daarnaast zijn potentiekaarten en een beslisboom opgesteld om richting te geven in de keuze van een haalbare techniek.

Met deze tools kunnen agrarisch ondernemers en adviseurs zelfstandig aan de slag om het gebruik van de ondergrond in de zoetwatervoorziening verder te brengen. De opschalingsmethodiek bestaat uit een oriëntatie-, quickscan-, haalbaarheid- en ontwerpfase. In het project zijn de eerste drie stappen hiervan voor een groot aantal agrarisch bedrijven op Schouwen-Duiveland doorlopen. Door de samenwerking tussen ondernemers, adviseurs en onderzoekers is hierbij kennis uitgewisseld en doorontwikkeld, en is ervaring opgedaan met toepassing van de methodiek.

Uit de ervaringen van met name de haalbaarheidsstudies blijkt dat er meer mogelijk is dan aanvankelijk door agrarisch ondernemers werd gedacht, met name op het vlak van drainageoplossingen in de poelgronden. Binnen het project is op aanvulling op het bestaande concept van antiverziltingsdrainage een nieuw concept uitgewerkt, dubbele drainage, welke in de praktijk getest moet worden. Aandachtspunt bij drainageoplossingen is het risico op verstopping en natschade. Investeringskosten zijn hoog, maar een economische analyse voor drainageoplossingen laat zien dat deze economisch haalbaar lijken. Verdere ervaring in de praktijk is nodig om investerings- en onderhoudskosten en kosten van eventuele schades verder te onderbouwen. Daarnaast is maatwerk nodig, waarbij lokale metingen bepalen welke techniek in welke vorm haalbaar is. Voor de kreekrug toepassingen is geconstateerd dat het oppervlaktewatersysteem belangrijk is om te voorkomen dat de zoetwaterbel wordt gedraineerd. Hier wordt geadviseerd om te zorgen dat eerst het watersysteem op orde is, voordat eerst laag technologische oplossingen en daarna hoogtechnologische oplossingen worden toegepast. Een beperking voor infiltratie is regelgeving en de beschikbaarheid van zoet infiltratiewater, ook in het natte seizoen. Mogelijk kan hiervoor door het koppelen van peilgestuurde drainage van meerdere percelen zoetwater worden verzameld.

Door samenwerken in de keten heeft het project geleid tot uitbreiding en het beschikbaar maken van kennis over de toepassing van technieken, met name op het gebied van het bodem- en watersysteem en kansrijke maatregelen. Hiermee is een stap vooruit gezet in de grootschalige toepassing. Aanbevolen wordt om pilots te (blijven) ondersteunen om praktijkkennis op te bouwen en ervaring uit te wisselen, en hierbij ook negatieve ervaringen zoals het ontstaan van schade te rapporteren. Hierbij is monitoring en vastlegging van kennis belangrijk. De economische haalbaarheid van maatregelen is nog onvoldoende onderbouwd en geadviseerd wordt om de kosten-baten verder in kaart te brengen om zo de drempel van hoge investeringskosten te verlagen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Aanleiding	8
1.2	Doel en aanpak POP3-project	9
1.3	Zoet water en de ondergrond van Schouwen-Duiveland	10
1.4	Belemmeringen en uitdagingen	11
1.5	Doel en opzet deelrapportage	12
2	Methodiek toepassing en opschaling	13
2.1	Stap 1. Oriëntatie	13
2.2	Stap 2. Quickscan	13
2.3	Stap 3. Haalbaarheidsstudie	14
2.4	Stap 4. Definitief / technisch ontwerp	15
2.5	Lessons Learned Methodiek opschaling	15
3	Tools, richtlijnen en standaarden	16
3.1	Toolbox oplossingen	16
3.1.1	1. Behoud van regenwaterlenzen / tegengaan verzilting	17
3.1.2	2. Vergroten of creëren van zoetwaterlenzen t.b.v. onttrekkingen	20
3.1.3	3. Verzamelen van zoet drainagewater	23
3.2	Potentiekaarten en beslisboom	24
3.2.1	Potentiekaart gecombineerd	24
3.2.2	Beslisboom	25
3.3	Overzicht aandachtspunten wet- en regelgeving	26
3.3.1	Aanleggen van stuwtjes	26
3.3.2	Aanleggen drainagesystemen	26
3.3.3	Infiltratie boven de grondwaterstand (bijv. via het drainagesysteem)	26
3.3.4	Infiltratie onder de grondwaterstand (bijv. via diepdraains of onder kleilaag)	26
3.3.5	Onttrekken van grondwater	26
4	Toepassing Methodiek in de Poelgronden	27
4.1	Quickscans	27
4.1.1	Groep 1. Poelgronden west (Scharendijke – Brouwershaven – Kerkwerve)	27
4.1.2	Groep 2. Polders oost	28
4.1.3	Oplossingsrichtingen	29
4.1.3.1	Waterbronnen	29
4.1.3.2	Opslag	30
4.2	Haalbaarheidsstudies	30
4.2.1	Teelt en bedrijfsvoering	30
4.2.2	Inventarisatie problemen en watervraag	31
4.2.3	Inventarisatie bodem	31

4.2.4	Hydrologische haalbaarheid	31
4.2.5	Economische haalbaarheid	33
4.2.5.1	Kosten	33
4.2.5.2	Baten	35
4.2.5.3	Kosten-baten tool	37
5	Toepassing Methodiek op de Kreekruggen	38
5.1	Quickscans	38
5.2	Haalbaarheidsstudie	40
5.3	Geohydrologie en watersysteem	40
5.3.1	Bodemopbouw	40
5.3.2	Watersysteem	41
5.3.3	Waterkwaliteit	42
5.3.4	Watervraag en wateraanbod	43
5.4	Doorrekening maatregelen voor zoetwateropslag	44
5.5	Wet- en regelgeving	45
5.6	Conceptueel ontwerp	50
6	Conclusies opschaling en aanbevelingen	52
6.1	Doorkijk en haalbaarheid opschaling op Schouwen-Duiveland	52
6.1.1	Indicatie kosten en opbrengst	52
6.2	Conclusies	54
6.2.1	Welke technieken zijn kansrijk voor Schouwen-Duiveland?	55
6.2.2	Ontsluiten van kennis	55
6.3	Aanbevelingen en hoe vooruit	56
7	Referenties	57
A	Beslisboom Technieken	59

1 Inleiding

In het project Samenwerken voor zoet water, van pilots naar grootschalige toepassing van zoetwateropslag in de ondergrond van Schouwen-Duiveland (2020 – 2022) is op Schouwen-Duiveland gewerkt aan het ontwikkelen van standaarden, richtlijnen en protocollen voor de toepassing van ondergrondse oplossingen om verzilting tegen te gaan en de zoetwatervoorraad voor agrariërs op het eiland te vergroten.

Dit eindrapport beschrijft de activiteiten in het project, waaronder de presentatie van een opschalingsmethodiek voor innovatieve technieken die zijn gericht op het vergroten van de zoetwaterbeschikbaarheid door middel van gebruik van de ondergrond. Deze methodiek is in het project toegepast en verder uitgewerkt. Het rapport bouwt verder op het rapport technische maatregelen (deelrapport 1: Kaandorp et al., 2021), waarin in meer detail een overzicht is gegeven van de beschikbare technieken en opbouw van potentiekaarten.

1.1 Aanleiding

De landbouw op Schouwen-Duiveland staat door klimaatverandering onder druk. Het eiland Schouwen-Duiveland is voor zoet water voor de landbouw geheel afhankelijk van regenwater en het beschikbare zoete grondwater in de duinen, kreekruigen en dunne regenwaterlenzen in de laaggelegen polders. Omdat Schouwen-Duiveland niet verbonden is met het zoetwaterhoofdsysteem is het niet mogelijk om in droge perioden zoet water aan te voeren of sloten door te spoelen. Hierdoor is er sprake van hoge zoutgehalten in het (ondiepe) grondwater en oppervlaktewater en watertekorten voor de landbouw in droge perioden. Door de toename van lange droge perioden gedurende het groeiseizoen en de lange termijn effecten van doorgaande bodemdaling in combinatie met zeespiegelstijging zal het probleem van droge en zoutere omstandigheden verder toenemen. De drie opvolgende droge jaren 2018, 2019 en 2020 hebben laten zien dat de landbouwsector op Schouwen-Duiveland kwetsbaar is voor de verwachte toenemende droogte en zoutere omstandigheden.

Om in de toekomst een vitaal en leefbaar platteland te behouden is een transitie naar een klimaatadaptief en zelfvoorzienend (grond)waterbeheer nodig. De transitie naar een klimaatadaptief (grond)watersysteem kan alleen plaatsvinden als het vraagstuk integraal en gebiedsgericht wordt aangepakt. Dit betekent dat gemeente, waterschap, agrarisch ondernemers, agrarisch adviesbureaus, experts en kennisinstellingen moeten samenwerken om innovaties te ontwikkelen, uitvoering te versnellen en gezamenlijk uitdagingen op te pakken. Om deze transitie te helpen versnellen is het Living Lab Schouwen-Duiveland opgezet. Het Living Lab Schouwen-Duiveland is op januari 2019 officieel van start gegaan en biedt plaats aan partijen die samen willen innoveren. Het project Samenwerken voor zoetwater is een van de uitvoeringsprojecten van het Living Lab Schouwen-Duiveland en richt zich op het vergroten van de zoetwatervoorraad in de ondergrond.

Schouwen-Duiveland heeft een regenwateroverschot in de winterperiode, maar dit zoete regenwater wordt nog te weinig benut om de zoetwatervoorraad aan te vullen. De uitdaging is om het beschikbare regenwater langer vast te houden, te bergen, op te slaan en vervolgens beschikbaar te stellen voor landbouw en natuur. Een van de kansrijke oplossingen in deze strategie is het gebruiken van de ondergrond om zoet water vast te houden en op te slaan. Hiervoor zijn al verschillende oplossingen ontwikkeld en getest in pilots in Zeeland (GO-FRESH en proeftuin Zoet Water), Noord-Nederland (Spaarwater) en Zuid-Holland (COASTAR). Voor Schouwen-Duiveland lijken een aantal van deze oplossingen kansrijk. Pilots hebben laten zien dat de technieken in staat zijn om de zoetwatervoorraad te vergroten en een positief effect kunnen hebben op de waterbeschikbaarheid.

De stap van deze pilots naar toepassing is voor veel ondernemers echter nog te groot. Het ontbreekt nog aan kennis of deze technieken werken onder net weer andere bodem-, water- en landbouwcondities van Schouwen-Duiveland. Om de patstelling in de toepassing van technieken en maatregelen te doorbreken is het nodig om kennis van pilots te vertalen naar technieken die passen bij de specifieke condities van Schouwen-Duiveland, en de agrarische sector op het eiland hierin mee te nemen. Hierbij is het belangrijk dat kennis door de hele keten gaat stromen: van onderzoekers via adviseurs en erfbetreders naar agrarisch ondernemers, en vice versa. Daarnaast ontbreekt het aan standaarden en richtlijnen voor aanleg, beheer en onderhoud, risico's en nadelen, en kengetallen voor bijvoorbeeld de effectiviteit en economische haalbaarheid.

1.2 Doel en aanpak POP3-project

Het doel van dit project is om de grootschalige toepassing van innovaties voor het vergroten van de zoetwaterbeschikbaarheid in de ondergrond en daarmee voor gewassen te versnellen door kennis uit eerdere pilots door te ontwikkelen tot uitvoeringsrijpe methoden, standaarden en technieken die grootschalig kunnen worden toegepast op het eiland Schouwen-Duiveland. Hiermee draagt het project bij aan het realiseren van een transitie naar een zelfvoorzienend watersysteem en biedt het kansen voor een meer volhoudbare landbouw onder een veranderend klimaat.

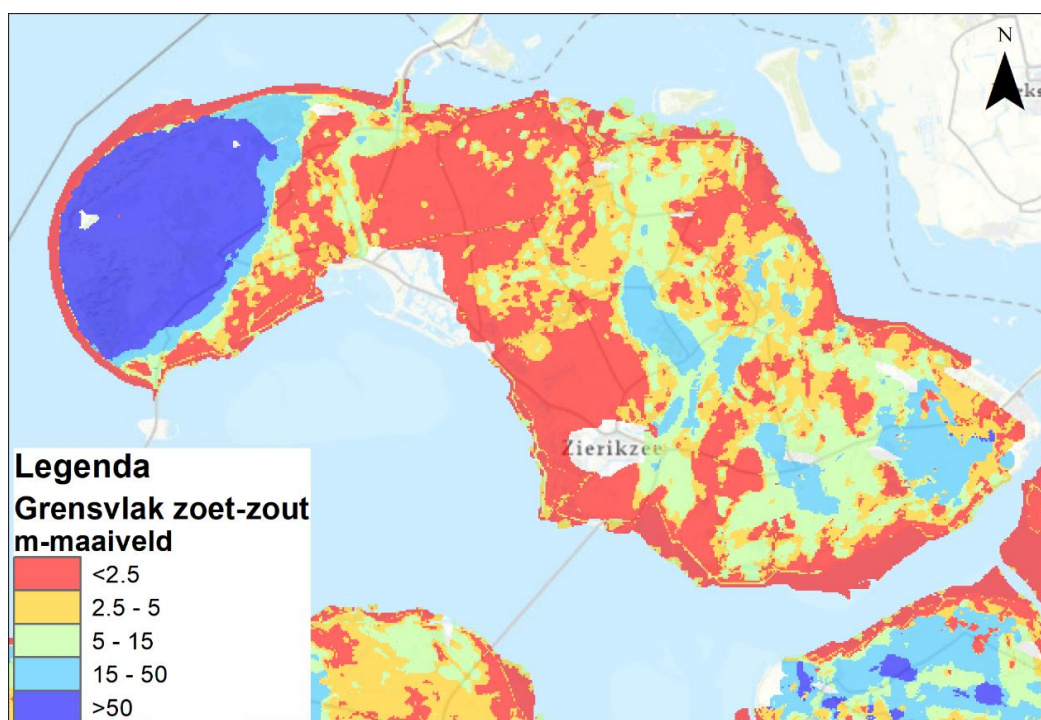
Aan de start van het project is een samenwerkingsverband opgezet van de betrokken partijen in de hele innovatieketen – van geohydrologische experts, adviseurs, vergunningverleners, uitvoerders en agrarische ondernemers. In de eerste fase van het project is gewerkt aan het creëren van een overzicht van beschikbare technieken en het opstellen van potentiekaarten voor toepassing van een aantal maatregelen op Schouwen-Duiveland (Kaandorp et al., 2021).

Daarnaast is een methodiek opgesteld voor uitvoering van quickscans voor toepassing van maatregelen. Deze quickscans zijn uitgevoerd voor 13 ondernemers, wat leidt tot een advies voor zoetwateropslag uit die past bij de specifieke bodem, (grond)water en bedrijfseconomische condities. We maken daarbij onderscheid tussen oplossingen voor de zoute kwelgebieden (de zeeleigebieden van de poelgronden) en oplossingen voor de zoete inziggebieden (de zandige kreekrug en duinrand). Vervolgens zijn voor de meest kansrijke cases haalbaarheidsstudies uitgevoerd. Deze haalbaarheidsstudies bestaan uit een gedetailleerde analyse van de bodem en (grond-)water situatie, watervraag- en aanbod, een waterkwaliteitsanalyse en uiteindelijk een kosten-batenanalyse en businesscase op basis van een voorlopig ontwerp. Daarnaast zullen de ervaringen uit de quickscans en haalbaarheidsstudies worden vertaald naar standaarden en richtlijnen voor grootschalige toepassing van de oplossingen waarmee agrarisch adviseurs zelfstandig verder kunnen.

1.3 Zoet water en de ondergrond van Schouwen-Duiveland

In een groot deel van het Nederlandse kustgebied is het ondiepe grondwater brak of zout. Ook op Schouwen-Duiveland is dit het geval. De invloed van zout grondwater is op Schouwen-Duiveland groot omdat het eiland geheel wordt omringd door het zoute water van de Noordzee, de Oosterschelde en de Grevelingen.

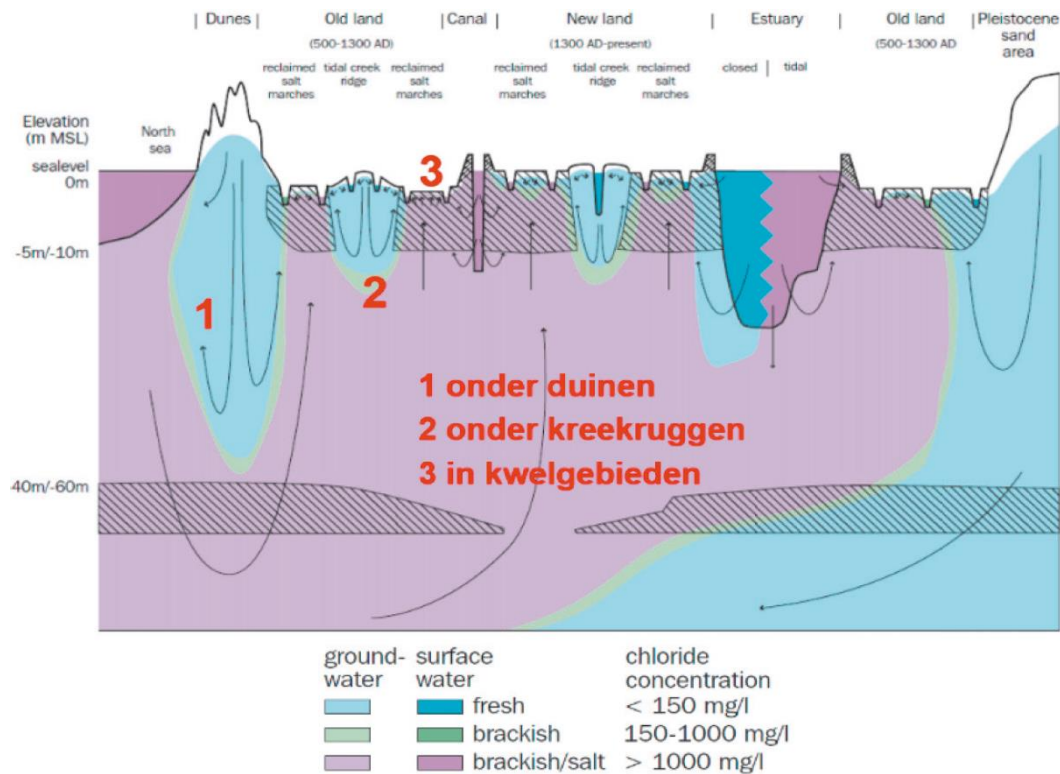
De invloed van zoute kwel is wel verschillend per landschapstype. De lager gelegen polders noemen we poelgronden, de ondergrond bestaat hier veelal uit klei en het grootste deel van het maaiveld bevindt zich op een hoogte van ongeveer NAP. Op enkele plekken steken zandige kreekkruggen enkele meters boven de polders uit. De duinen aan de westzijde van het eiland hebben een hoogte tot ongeveer 35 m boven NAP. Op de zandige kreekkruggen en duinen infiltreert zoet regenwater waardoor zoetwaterbellen zijn gevormd met een dikte tot ongeveer 30 meter, onder de duinen zelfs tot een dikte van bijna 100 meter (Figuur 1.1). De polders hebben over het algemeen kleiige bodems en door de lage ligging komt in de poelgronden kwel voor. Deze kwel wordt veroorzaakt door de hogere waterdruk op grotere diepte en belemmert de infiltratie van regenwater naar het diepere grondwater. Hierdoor zijn regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden meestal dun (< 2 m) en is het ondiepe grondwater vrijwel overal brak tot zout. Dankzij regenwaterlenzen is de bovengrond zoet, wat landbouw mogelijk maakt. Buisdrainage voert grondwater af en heeft daardoor een groot effect op de regenwaterlenzen.



Figuur 1.1 Zoet-zoutverdeling in de bodem van Schouwen-Duiveland: de diepte van het 1500 mg Cl/l grensvlak varieert van > 50 meter onder de duinen (blauw) tot < 2,5 meter in de polders (rood). Bron: FRESHEM Zeeland (Van Baaren et al., 2018).

Over het algemeen geldt dat zoet water een chloride-concentratie heeft lager dan 150 mg/l, terwijl Noordzeewater een concentratie heeft van ongeveer 16000 tot 17000 mg/l. In Zeeland wordt gesproken van 'landbouwkundig zoet' wanneer de Cl-concentratie lager is dan 1000 mg/l, dit water is zoet genoeg voor de meeste landbouw gewassen als aardappelen, uien en tarwe. De elektrische geleidbaarheid (EC) van dit water is bij deze chloride-concentratie ongeveer 4 mS/cm.

De verwachting is dat voortdurende klimaatverandering en zeespiegelstijging grote invloed hebben op het watersysteem van het eiland en zal zorgen voor veranderingen in grondwaterstanden en zoet-zout voorkomens (Delsman et al., 2022). Hierbij zullen er lokale verschillen optreden. Door veranderende neerslagpatronen zullen de wintergrondwaterstanden deels stijgen, maar door vaker voorkomende droogte kunnen de zomergrondwaterstanden juist dalen. Door zeespiegelstijging zal de druk in het eerste watervoerende pakket toenemen waardoor (zoute) kwel toeneemt waardoor sloten zouter worden. In percelen zal dit effect waarschijnlijk grotendeels worden opgevangen door de aanwezige drainagesystemen.



Figuur 1.2 Typische zoet-zoutverdeling voor Zeeland waar de recente transgressie (200-1100 AD) de watervoerende pakketten hebben verzilt en sinds inpoldering zoetwaterlenzen konden groeien onder de hoger gelegen delen zoals duinen (1) en kreekkruggen (2). In de zoute kwelgebieden worden zeer dunne (< 2 m) regenwaterlenzen aangetroffen (3). Uit: de Louw, 2013.

1.4 Belemmeringen en uitdagingen

Veel agrarisch ondernemers op het eiland hebben aangegeven te willen investeren in maatregelen om zoet water vast te houden. Hoewel de oplossingen voor het vergroten van zoet water in de ondergrond in verschillende pilots in Zeeland, Noord-Holland en Friesland positieve resultaten hebben getoond, zijn de oplossingen nog niet klaar voor grootschalige toepassing. Dit komt doordat de kennis uit de pilots nog niet is vertaald naar toepassing onder de specifieke bodem, (grond)water en bedrijfseconomische condities van de landschapstypen van Schouwen-Duiveland. Hierdoor is er nog veel onzekerheid over de technische uitvoering, de aanleg en operationele kosten, beheeraspecten, risico's, de verwachte verbetering in opbrengsten en daarmee de economische haalbaarheid van de investering. Zo is bij onderzoek naar peilgestuurde drainage gebleken dat er een verhoogd risico is op verstopping van drainagebuizen en bestaan er vragen ten aanzien van het risico op natschade bij grondwaterstandsverhogingen (Van der Gaast, 2019). Zolang dit soort onzekerheden blijven bestaan, zijn ondernemers niet bereid om het investeringsrisico te nemen en blijft grootschalige toepassing uit. Deze patstelling werkt twee kanten uit: omdat er

niet geïnvesteerd wordt in de aanleg van oplossingen worden technieken niet verfijnd en aangepast, wordt er niet geleerd van de uitdagingen van praktische uitvoering en kunnen effecten niet gemonitord worden. Hierdoor ontstaat er geen kennisbasis en werkwijze bij agrarische adviesbureaus en uitvoerders waarmee de kosten van advies en uitvoering kunnen worden verlaagd en de economische haalbaarheid wordt vergroot.

Belemmeringen in de opschaling liggen met name in:

1. Kennis van het bodem- en watersysteem en kansrijke maatregelen

- Er is bij lokale adviseurs en agrarisch ondernemers onvoldoende begrip over hoe het bodem- en (grond)watersysteem functioneert (incl. zoet-zout en verzilting).
- Kennis uit onderzoeken is niet beschikbaar op een manier die voor agrariërs toegankelijke en bruikbaar is. Er is versnippering van kennis.
- Het ontbreekt aan een afwegingskader voor het bepalen van de kansrijkheid van maatregelen.
- Risico's en daarmee samenhangende risico op schade (bijv. natschade) zijn onvoldoende bekend.

2. Onzekerheid over economische en juridische haalbaarheid

- Veel technische innovaties worden als nieuw en duur gezien. De investeringskosten en mogelijke baten zijn onvoldoende bekend.
- Onduidelijkheid over aspecten als beheer, verdeling van het water en organisatievormen die daarbij horen.
- Regelgeving rondom maatregelen is soms ingewikkeld en onvoldoende duidelijk bij ondernemers.

3. Wisselende urgentie

- De aandacht voor droogte en wateroverlast wisselt en is afhankelijk van droge en natte jaren.
- Volgens sommige partijen ligt de oplossing tegen droogteschade in ofwel externe aanvoer van water ofwel in het nemen van lokale maatregelen. Door deze lopende discussie zijn agrarisch ondernemers terughoudend in het doen van investeringen, terwijl het een het ander niet hoeft uit te sluiten en juist kan versterken.

1.5 Doel en opzet deelrapportage

Deze eindrapportage beschrijft hoe bovenstaande punten zijn opgepakt in de projectonderdelen methodiek, quickscans, haalbaarheidsstudies en opschaling. Hoofdstuk 2 beschrijft de methodiek die in het project is gevolgd om van een groot aantal potentiële locaties te komen tot enkele gedetailleerde haalbaarheidsstudies. Hoofdstuk 3 geeft een kort overzicht van de verschillende oplossingen, tools en de relevante wet- en regelgeving. Vervolgens worden in Hoofdstuk 4 de quickscans en haalbaarheidsstudies van de poelgronden beschreven. En in Hoofdstuk 5 de quickscans en haalbaarheidsstudie die zijn uitgevoerd op de kreekruggen. Tenslotte bevat Hoofdstuk 6 de ervaringen met de gevolgde methodiek, een doorkijk in de opschaling en enkele aanbevelingen.

2 Methodiek toepassing en opschaling

Agrarisch ondernemers zoeken naar manieren om hun zoetwatervoorziening te verbeteren of vergroten. Er bestaan verschillende innovatieve technieken waarbij gebruik wordt gemaakt van de ondergrond voor het vergroten van de zoetwatervoorziening en tegengaan van verzilting. In verschillende pilots en onderzoeken zijn deze technieken ontwikkeld en getest. Voor het toepassen van deze maatregelen benaderen agrariërs bijvoorbeeld adviesbureaus of draineurs. De methodiek die in dit hoofdstuk wordt gepresenteerd is bedoeld om deze partijen te helpen om tot een gedegen advies en ontwerp te komen voor het toepassen van de innovatieve technieken, om op deze manier de opschaling te versnellen.

Voor het toepassen van de innovatieve technieken worden vier stappen doorlopen, van algemeen naar specifiek naar uitrol. Deze stappen zijn:

1. Oriëntatie
2. Quickscan;
3. Haalbaarheidsstudie;
4. Definitief / technisch ontwerp.

In de oriëntatiefase onderzoekt een agrariër zelf welke wensen er zijn op het gebied van zoet water en welke (investerings)mogelijkheden er zijn voor het bedrijf. Op basis hiervan kan hij een adviseur inschakelen. In de quickscan wordt door een adviseur een eerste verkenning gedaan op basis van reeds beschikbare gegevens en gesprekken met de agrariër. Uit de quickscan volgt welke technieken op lokale schaal haalbaar lijken. In de haalbaarheidsstudie worden deze technieken verder uitgewerkt, waarbij bijvoorbeeld metingen en een geohydrologische studie worden uitgevoerd. Uit de haalbaarheidsstudie volgt een concreet advies over de technisch en economisch meest haalbare oplossing. Dit wordt in de laatste stap in samenwerking met een draineur of watertechnoloog uitgewerkt in een definitief technisch ontwerp waarna tot aanleg kan worden overgegaan.

2.1 Stap 1. Oriëntatie

Agrariër oriënteert zich op wensen en (investerings)mogelijkheden. Hiervoor kan onderhavig rapport worden bekeken, kunnen informatiebijeenkomsten worden bezocht, andere agrariërs worden bevraagd en kan openbare data worden geraadpleegd (Tabel 2.1).

2.2 Stap 2. Quickscan

Een quickscan dient als eerste verkenning van de potentiële innovatieve technieken die op een perceel kunnen worden toegepast en resulteert in de meest kansrijke oplossing(en), gebaseerd op hydrogeologische systeemkennis en sociaaleconomische omstandigheden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de bestaande gegevens van bijvoorbeeld de ondergrond, zoals de geologische schematisatie GEOTOP van TNO. Een overzicht van openbaar beschikbare data wordt gegeven in Tabel 2.1.

Deze gegevens worden verzameld en bekeken om een goed eerste beeld te krijgen van het bodem- en watersysteem van het beoogde perceel / percelen. In een 'keukentafelgesprek' met de ondernemer wordt vervolgens de bedrijfsvoering en de kennis over de percelen die bij de ondernemer aanwezig is besproken. Hierbij komen teelten, bedrijfsvoering, water en ondergrond, watervraag en de huidige knelpunten aan bod.

Tabel 2.1 Overzicht van openbaar beschikbare data die kunnen worden gebruikt in de oriëntatie- en quickscanfase.

Gegevens	Beschrijving	Locatie
PDOK	Verzameling van open datasets van de overheid met o.a. bodemkaart, grondwaterkaart en percelen.	<i>app.pdok.nl/viewer</i>
AHN	Hoogtekaart van Nederland	<i>ahn.nl/ahn-viewer</i>
Topotijdreis	Verzameling historische kaarten	<i>topotijdreis.nl</i>
KNMI Meteorologie	Meteorologische gegevens zoals neerslag, verdamping en temperatuur.	<i>knmi.nl</i> <i>dataplatform.knmi.nl</i>
Basisregistratie ondergrond: Ondergrondgegevens	Resultaten van monitoring van grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit	<i>broloket.nl/ondergrondgegevens</i>
Basisregistratie ondergrond: Ondergrondmodellen	Interpretatie van ondergrondgegevens in Nederland-dekkende schematisatie van de ondergrond (o.a. GeoTOP)	<i>broloket.nl/ondergrondmodellen</i>
Grondwatertools – Thema Grondwater	Verzameling statistieken voor een groot aantal grondwatermeetpunten in Nederland	<i>grondwatertools.nl/gwsinbeeld</i>
NHI Dataportaal grondwatermodellen	Invoergegevens en resultaten van regionale en landelijke modellen. Voor Schouwen-Duiveland kan het landelijke model LHM worden geraadpleegd.	<i>data.nhi.nu</i>
Gegevens watersysteem Scheldestromen	Data van Waterschap Scheldestromen waaronder de legger oppervlaktewateren met waterpeilen.	<i>scheldestromen.nl/interactieve-kaarten</i>
FRESHM zoet-zout gegevens	Resultaten van grootschalige zoet-zout kartering van het grondwater in Zeeland.	<i>kaarten.zeeland.nl/map/freshem</i>
Potentiekaarten (Kaandorp et al., 2021)	Kaarten van Schouwen-Duiveland met inschatting waar welke maatregelen kansrijk zijn.	<i>livinglabschouwen-duiveland.nl/kennis-en-leren/bibliotheek</i>

Op basis van de gegevens en de kennis van de ondernemer wordt een advies voor maatregelen gevormd. Met name in deze fase zijn de Toolbox oplossingen, ontwikkelde potentiekaarten, tabellen en beslisboom ondersteunend (zie Hoofdstuk 3). De uitkomst van de quickscan is een advies om een haalbaarheidsstudie uit te voeren naar één of meerdere maatregelen die kansrijk lijken. Onderdelen van dit advies zijn:

- a. Huidige werking (grond)watersysteem en zoetwatervoorkomens,
- b. Mogelijkheden opslag zoet water of vergroten zoetwatervoorkomens,
- c. Mogelijke bronnen van zoet water,
- d. Kosten en beleidsaspecten.

2.3 Stap 3. Haalbaarheidsstudie

In de haalbaarheidsstudie wordt het advies uit de quickscan verder uitgewerkt. Hierbij worden metingen en een geohydrologische studie uitgevoerd. Uit de haalbaarheidsstudie volgt een concreet advies over de technisch en economisch meest haalbare oplossing.

Per agrariërs of cluster is het plan van de Quickscan verder uitontwikkeld. Daarbij is samen met de agrariërs bepaald welke oplossingen het best past in de specifieke bedrijfsvoering. Gezamenlijk zijn de percelen geselecteerd en bepaald welke gewassen eventueel berekend dienen te worden, rekening houdend met het bouwplan van de agrariër. Hiervoor zijn meerdere gesprekken per agrariër gevoerd.

Afhankelijk van de mogelijkheden die uit de quickscan en gesprekken naar voren zijn gekomen worden gericht veldmetingen uitgevoerd. Hierbij is het met name van belang om de regionale gegevens die zijn gebruikt in de quickscan op perceelsniveau te valideren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de bodemopbouw middels boringen of sonderingen en de diepte van het zoet-zout grensvlak middels prikstokmetingen of geofysica. Op basis van deze gegevens wordt gekeken of de oplossing hydrologische haalbaar is. Vervolgens wordt de economische haalbaarheid bepaald in de vorm van een kosten-baten analyse. Bij deze economische analyse kan worden uitgegaan van de kennis van de agrariër en van landbouwkundige kengetallen. Naast de hydrologische en economische haalbaarheid wordt in de haalbaarheidsstudie ook aandacht besteed aan de juridische haalbaarheid door in kaart te brengen welke meldingen en/of vergunning vereist zijn.

2.4 Stap 4. Definitief / technisch ontwerp

Op basis van de gegevens en adviezen uit de haalbaarheidsstudie wordt een definitief technisch ontwerp gemaakt. Hierbij worden definitieve ligging, diepten, aantallen etc. bepaald. Op basis van dit ontwerp kan een uitvoerder of draineur het systeem aanleggen. Het wordt aanbevolen om bij deze stap de uitvoerder te betrekken, om tot een haalbaar en betaalbaar ontwerp te komen.

2.5 Lessons Learned Methodiek opschaling

Tijdens het project is de bovenstaande methodiek voor opschaling doorlopen tot en met haalbaarheidsstudies. Hierbij is ervaring opgedaan en zijn verschillende relevante lessen geleerd. Over het algemeen is het stappenplan positief ontvangen door adviseurs en agrarisch ondernemers. Het is een duidelijk traject om tot een definitief ontwerp voor een maatregel te komen.

Enkele bevindingen uit de praktijk zijn:

- Ondernemers weten vaak nog niet goed wat hun specifieke zoetwater behoefte is. Belangrijk om samen met de ondernemer goed in beeld brengen wat de ondernemer verwacht en nodig heeft voor een goede bedrijfsvoering (minder droogterisico, meer opbrengst, minder kosten, diverser bouwplan, etc.) en wat dat betekent voor de zoetwaterbeschikbaarheid (volumes, moment van toedienen, verwachte opbrengstverbetering).
- In de quickscanfase kunnen ook maatregelen als duurzaam bodembeheer en aanpassingen van het bouwplan worden meegenomen. Wat kan je als ondernemer zelf doen om zoetwater in de bodem zo optimaal mogelijk vast te houden en hoe richt je je bouwplan op de beperkingen van het bodem- en watersysteem?
- Haalbaarheidsstudies bevatten altijd een verdiepende bodem/ondergrond studie om de bodemopbouw op perceelsschaal in kaart te brengen.
- De bonte opbouw van de ondergrond van Schouwen-Duiveland, met name in de poelgronden, kan de keuze voor een techniek bemoeilijken.
- Zorg dat eerst het watersysteem op orde is, start dan met laag technologische oplossingen als stuwtejes en peilgestuurde drainage met lage kosten en onderhoud. Beweeg pas daarna naar de echt technische oplossingen.
- Er bestaan nog verschillende knelpunten in de wet- en regelgeving. Deze zijn gedurende het project met de relevante overheden gedeeld.
- Economische haalbaarheid is sterk afhankelijk van de bedrijfsvoering en toekomstverwachting (bijvoorbeeld hoe vaak komen droogtes voor?).

3 Tools, richtlijnen en standaarden

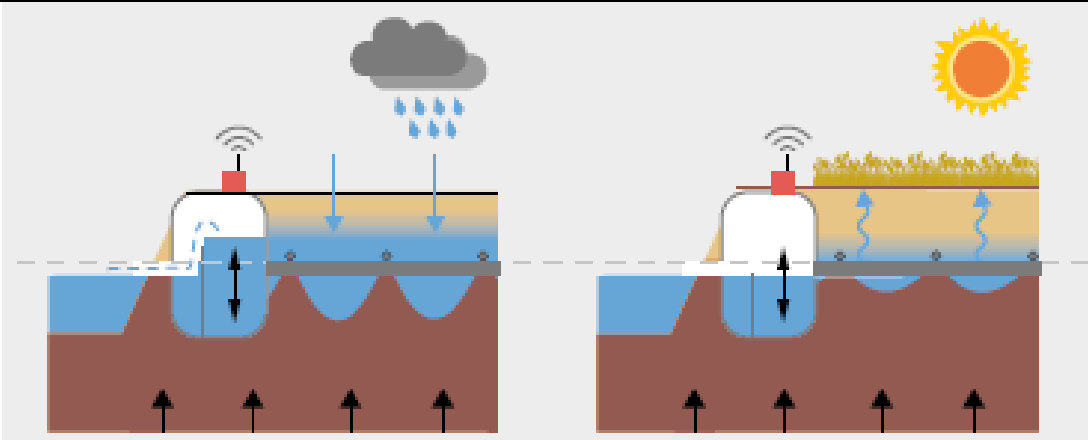
3.1 Toolbox oplossingen

Een toolbox overzicht oplossingen en technieken is opgesteld door Kaandorp et al. (2021), hier wordt een kort overzicht gegeven. Er zijn verschillende technieken die op Schouwen-Duiveland kunnen worden toegepast om de ondergrond (beter) in te zetten in de zoetwatervoorziening. Hierbij zijn technieken in die klassen te verdelen: 1) het versterken van regenwaterlenzen om verzilting tegen te gaan, 2) het vergroten of creëren van zoetwaterlenzen t.b.v. het onttrekken van zoet wateren 3) het verzamelen van zoet drainagewater via enkele of dubbele drainage.

Maatregel	Doel	Actieve infiltratie	Kosten op basis van literatuur ¹	Potentiele opbrengst op basis van literatuur (m ³ /ha) ²
1. Behoud van regenwaterlenzen / tegengaan verzilting				
Peilgestuurde drainage	Bestrijding verzilting op het perceel	Nee	2400-2500 eur/ha	300
Antiverziltingsdrainage - Drains2Buffer	Bestrijding verzilting op het perceel	Nee	2100-3100 eur/ha	900
Waterconservering door stuwen	Bestrijding verzilting op het perceel	Nee	1000-5000 per stuw	200
2. Vergroten of creëren van zoetwaterlenzen t.b.v. onttrekkingen				
Kreekruginfiltratie (KIS)	Oppompen zoet water uit ondergrond	Ja	0.12 – 0.80 eur/m ³	1500
Ondergrondse waterberging onder een afsluitende kleilaag	Oppompen zoet water uit ondergrond	Ja	0,20 – 0,70 eur/m ³	4200
Freshmaker	Oppompen zoet water uit ondergrond	Ja	0.50 – 0.74 eur/m ³	2000
3. Verzamelen van zoet drainagewater				
Peilgestuurde drainage	Verzamelen van zoet water t.b.v. infiltratie of vullen van een bassin	n.v.t.	2400-2500 eur/ha	n.v.t.
Dubbele (of 'combinatie') drainage	Verzamelen van zoet water t.b.v. infiltratie of vullen van een bassin	n.v.t.	0.62 – 0.75 eur/m ³	1.000 - 1.500

¹ zie referenties in Kaandorp et al. (2021) en op volgende pagina's. NB. Kosten voor kreekruginfiltratie, ondergrondse waterberging en Freshmaker zijn exclusief kosten verzamelen infiltratiewater en beregening. Kosten voor dubbele drainage inclusief wateropslag (bassin) en beregening.

² Nikkels et al., 2019.

Peilgestuurde Drainage	
	
<i>Bron: Acacia Water, 2019.</i>	
Werking	Drainagesysteem waarbij het instelniveau variabel is waardoor water langer in de ondergrond kan worden vastgehouden.
Doel	Langer vasthouden zoet water (regenwaterlenzen). Peilgestuurde drainage kan ook worden ingezet om (in de winter) zoet drainagewater te verzamelen t.b.v. infiltratie of het vullen van een bassin.
Toepasbaar bij	Perceel met drainagebehoefte, met name in kwelsituatie
Risico's	Nat- of zoutschade, met name door verstopping van drainagebuizen.
Kosten / baten	Levensduur: 15-20 jaar. <ul style="list-style-type: none"> • Kosten schatting 1 (Tolk, 2012): 30 – 160 eur/ha/jaar (verzameldrain en put), Max. 160 eur/ha/jaar (aanleg van drainagebuizen) • Kosten schatting 2 (Deltafact Regelbare Drainage): 2400 – 2500 eur/ha (totale kosten)

Belangrijke geschiktheidsfactoren:

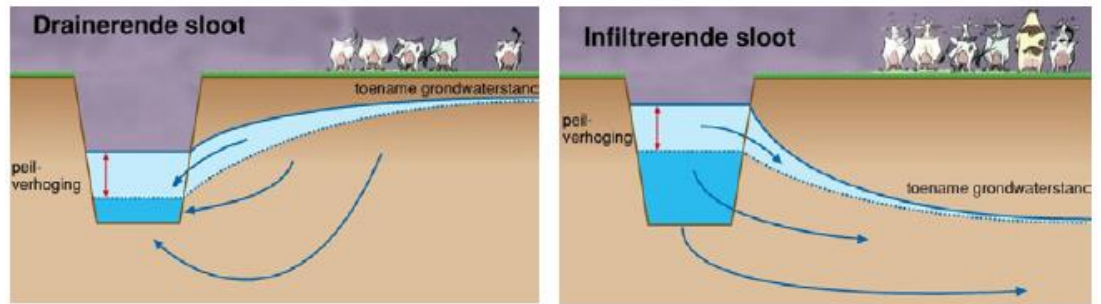
Factor	Voorwaarde
Doorlatendheid van de bodem bij de drainagebuizen	Voldoende doorlatend voor werking drainagebuizen
Aanwezigheid van ondoorlatende klei (ongerijpte klei, keileem) in het ondiepe bodemprofiel	Mag niet voorkomen t/m diepte drainagebuizen i.v.m. doorlatendheid
Kwelsituatie	Toepassen van drainage en opzetten grondwaterstand is gunstiger in kwelsituatie, tenzij water wordt aangevoerd.
Drainagebehoefte	Bij te diepe grondwaterstanden zal er geen behoefte zijn aan drainage
Aanwezigheid van ijzer in bodem of kwelwater	Kan verstopping veroorzaken
Aanwezigheid buisdrainage	Bestaande drainage peilgestuurd maken kan kostenbesparingen opleveren

Antiverziltingsdrainage - Drains2Buffer	
<i>Bron: Oude Essink et al., 2018</i>	
Werking	Peilgestuurd drainagesysteem waarbij de drains op grotere diepte worden geplaatst zodat hoofdzakelijk brak/zout water afgevoerd wordt
Doel	Langer vasthouden zoet water, groei van regenwaterlens
Toepasbaar bij	Perceel in kwelsituatie met dunne regenwaterlens en ondiep brak grondwater
Risico's	Nat- of zoutschade, met name door verstopping van drainagebuizen.
Kosten / baten	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten schatting 1 (Acacia Water., 2019): 2500 eur/ha (investering) + 300 eur/ha/jaar voor levensduur 15 jaar • Kosten schatting 2 (GO-FRESH: Oude Essink et al., 2018): 2100 – 3100 eur/ha (investering) + 300 eur/jaar voor 10-15 ha.

Belangrijke geschiktheidsfactoren

Factor	Voorwaarde
Aanwezigheid slecht doorlatende lagen rondom drains	Onwenselijk i.v.m. doorlatendheid
Kwelsituatie	Weinig tot geen wegzijging
Diepte zoet-zout grensvlak	Ondiep grensvlak
Drainagebehoefte	Ondiepe grondwaterstand
IJzer in bodem of water	Kan verstopping veroorzaken

Waterconservering door stuwen

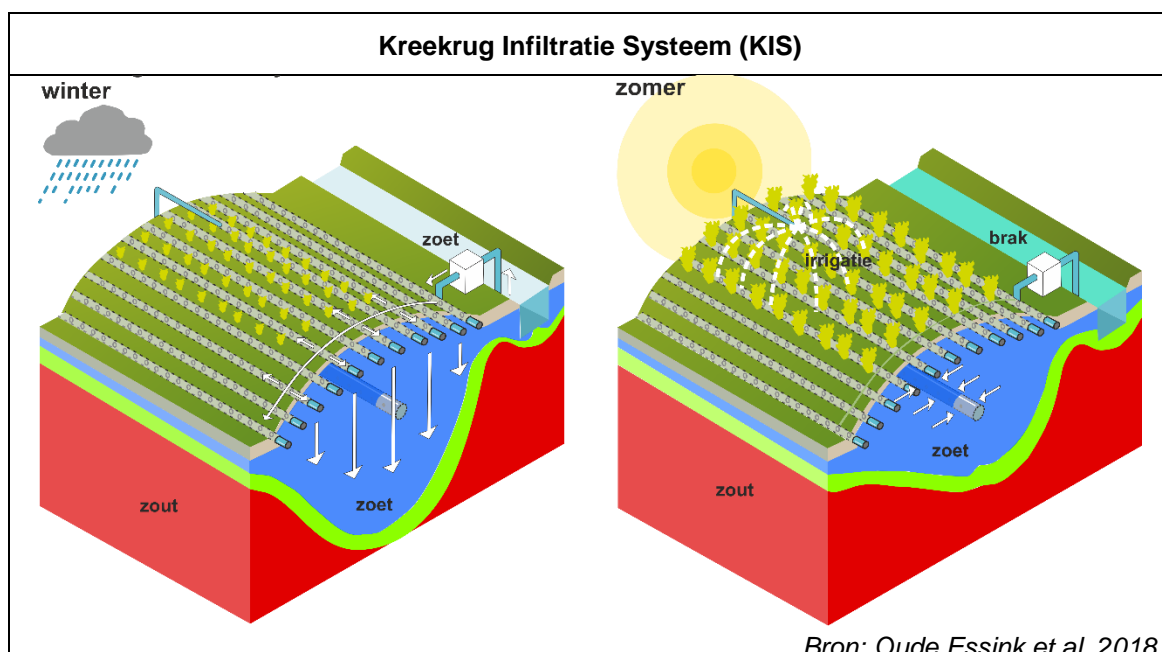


Bron: Jeuken et al. (2015)

Werking	Door plaatsen van stuwjes in sloten wordt water vastgehouden in zowel oppervlakte- als grondwater. Door een kleinere drooglegging stijgt het grondwaterpeil en wordt meer regenwater in de ondergrond vastgehouden.
Doel	Vasthouden van (zoet) water
Toepasbaar bij	Met sloten gedraineerde vlakke gebieden met matig-grote drooglegging
Risico's	Ongewenste vernatting / natschade.
Kosten	Levensduur: 20 – 30 jaar (Delsman et al., 2020) Kosten (Delsman et al., 2020): Plaatsen van de stuw: 1000 – 5000 euro Exploitatiekosten: 50 eur/stuw/jaar

Belangrijke geschiktheidsfactoren

Factor	Voorwaarde
Drooglegging en ontwatering	Voldoende ruimte om sloot- en grondwaterpeil te verhogen
Maaiveldhelling	Zo vlak mogelijk voor groter effect. Bij steile waterloop wordt maar een klein gebied beïnvloed door een stuw
Slootafstand	Kleine afstand tussen sloten is gunstig
Wegzijing naar omgeving (evenredig aan spreidingslengte) / kwelflux	Een te hoge wegzijing zal betekenen dat deze maatregel weinig effect heeft.
Aanwezigheid buisdrainage	Kan zowel positief als negatief effect hebben: bij onder water zetten van drainage groter effect van peilverhoging op grondwaterstand. Anders versnelde afvoer via drains.

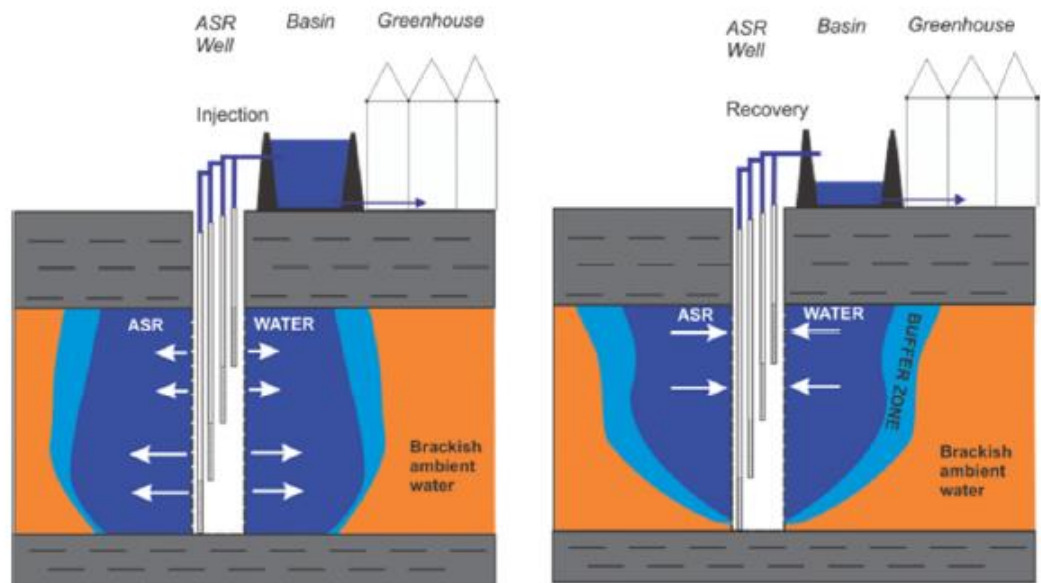


Werking	Verhogen grondwaterstand door infiltratie via drainage zorgt voor groei zoetwaterlens
Doel	Vergroten zoetwaterlens voor irrigatie
Toepasbaar bij	Zandige ondergrond met aanwezigheid van een zoetwaterlens (bijv. kreekruggen, dekzandruggen en duinen)
Risico's	Ongewenste vernatting / natschade door verhoging grondwaterstand. Verzilting bij te hoog onttrekkingsdebiet.
Kosten	Levensduur 15 jaar Kosten (GO-FRESH, Oude Essink et al., 2018): 2900 – 5000 eur/ha (investeringskosten) 1440 eur/jaar (elektriciteitskosten) 300 eur/ja (operationele kosten, doorspuiten drains op 10-15 ha perceel)

Belangrijke geschiktheidsfactoren

Factor	Voorwaarde
Zandige ondergrond	Doorlatendheid voldoende voor infiltratie
Infiltratiesituatie / hoogteligging	Nodig voor voorkomen zoetwaterlens
Diepte zoet-zout grensvlak	Indien een zoetwaterlens aanwezig is zijn de omstandigheden geschikt.
Ondoorlatende lagen	Klei en veenlagen kunnen de lensgroei belemmeren. Zowel ondiep (infiltratie) als dieper (groei lens aan onderzijde)
Voldoende ontwatering	Ruimte voor verhogen grondwaterstand (in winter)
Groeimogelijkheden zoetwaterlens	Voldoende ruimte tussen de onderkant van de lens en de onderkant van het freatisch pakket
Drainage	Nabijgelegen drainage kan verhogen grondwaterstand tegengaan.
Aanwezigheid van zoet water(bron)	Zoet water is nodig voor infiltratie (in winter)

Ondergrondse waterberging onder afsluitende kleilaag

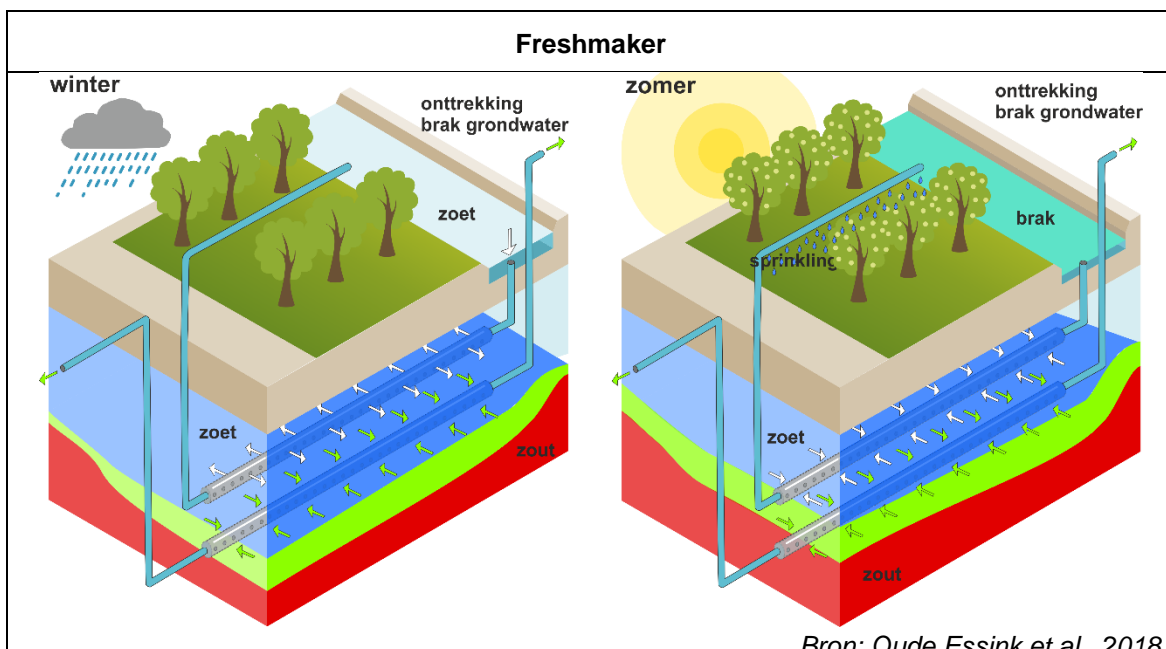


Bron: Zuurbier et al., 2018

Werking	Injecteren van zoet water in een brak/zout pakket via putten tijdens overschot, onttrekken wanneer nodig.
Doel	Aanleggen of vergroten zoetwatervoorraad
Toepasbaar bij	Aanwezigheid van zandige laag in de ondergrond en intensieve/hoogwaardige teelten (i.v.m. kostprijs)
Risico's	Opbarsting, kortsluitstromen. Verzilting bij te hoog onttrekkingsdebiet.
Kosten	0.20-0.70 eur/m ³ (Zuurbier et al., 2012)

Belangrijke geschiktheidsfactoren

Factor	Voorwaarde
Zandige laag in de ondergrond	Aanwezigheid van een laag met voldoende dikte en doorlatendheid voor infiltratie en opslag
Opbouw ondergrond & verdeling en concentraties zoet-zout	I.v.m. opdrijving
Ondiepe klei- of veenlagen	Aanwezigheid van deze lagen voorkomt onwenselijke effecten (opbarsting, zetting, toename kwel)
Aanwezigheid van zoet water(bron)	Zoet water is nodig voor infiltratie (in winter)
Stroomsnelheid grondwater injectielaag	Niet te hoog: geïnjecteerde water mag niet wegstromen



Werking	Injecteren van water via horizontale put tijdens overschot en tegelijkertijd onttrekken zout/brak water onder zoetwaterlens. Zoet water onttrekken wanneer nodig.
Doel	Aanleggen of vergroten zoetwatervoorraad
Toepasbaar bij	Aanwezigheid van zandige laag in de ondergrond en intensieve/hoogwaardige teelten (i.v.m. kostprijs)
Risico's	Opbarsting, kortsluitstromen. Verzilting bij te hoog onttrekkingsdebiet.
Kosten	Levensduur: 20 jaar Kosten (GO-FRESH: Oude Essink et al., 2018): 4000 – 5200 eur/ha (investeringskosten) 1600 eur/jaar (operationele kosten voor perceel van 10-15 ha)

Belangrijke geschiktheidsfactoren

Factor	Voorwaarde
Verdeling en concentraties zoet-zout	Bij een diepe ligging van het zoute water zal de Freshmaker niet nodig zijn. Ook een erg ondiepe/afwezige zoetwaterlens geeft aan dat de condities voor de vorming van een zoetwaterlens ongunstig zijn.
Ondiepe klei- en veenlagen	Afwezig of dun, anders wordt de infiltratie belemmerd en de lensgroei beperkt
Diepe kleilaag	Aanwezig: dit voorkomt opdrijving van zout grondwater
Zoet water(bron)	Zoet water is nodig voor infiltratie (in winter)
Stroomsnelheid grondwater injectielaag	Niet te hoog: geïnjecteerde water mag niet wegstromen.

Dubbele- of combinatiedrainage	
Werking	In plaats van een regulier drainagesysteem waarbij kwel en neerslag water vermengt worden afgevoerd, wordt een dieper systeem aangelegd voor afvoer van zoute kwel en een ondiep systeem voor afvoer van zoet neerslagwater.
Doel	Verzamelen van zoet drainagewater t.b.v. opslag en gebruik
Toepasbaar bij	Ondiepe slechtdoorlatende lagen zoals ongerijpte klei en hoge kweldruk.
Risico's	Systeem is nog niet in de praktijk getest. Nat- of zoutschade, met name door verstopping van drainagebuizen.
Kosten	0.62 – 0.75 eur/m ³ inclusief kosten bassin en zandkoffer; 0.42 – 0.55 eur/m ³ inclusief kosten bassin, exclusief zandkoffer, bij een levensduur van 15 jaar (exclusief beregeningskosten van haspel en/of druppelirrigatie). Zandkoffer is afhankelijk van bodemtype. Investeringskosten 13.000 – 16.000 eur/ha “verzameloppervlakte”, toepassing verzamelde water mogelijk op groter oppervlakte.

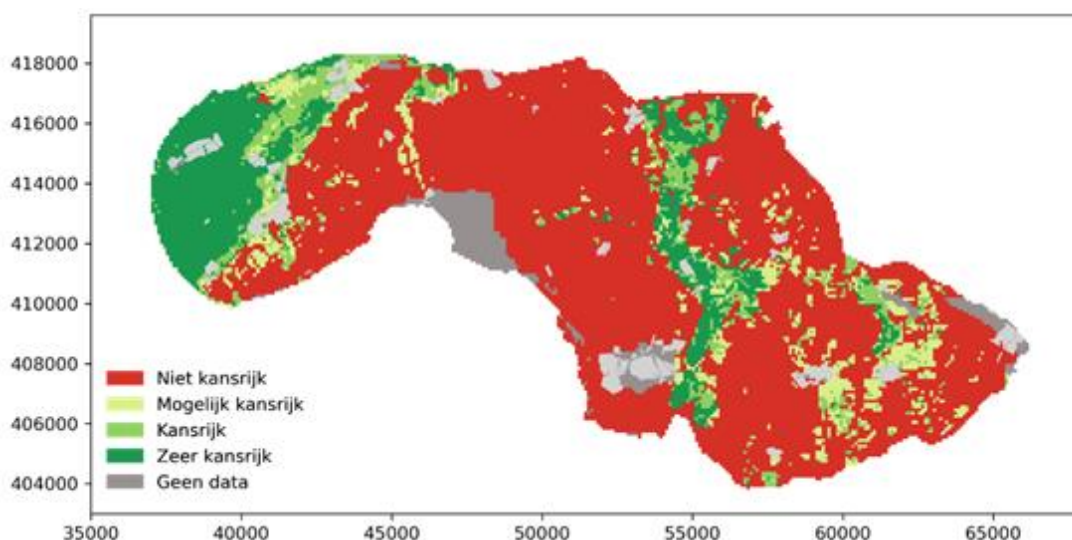
Belangrijke geschiktheidsfactoren

Factor	Voorwaarde
Zoute of brakke kwel, hoge kweldruk	Dubbele drainage wordt alleen toegepast indien er zoute of brakke kwel is om af te vangen.
Diepte zoet-zout grensvlak	Ondiep grensvlak
Doorlatendheid van de bodem bij de drainagebuizen	Voldoende doorlatend voor werking drainagebuizen
Aanwezigheid van ondoorlatende klei (ongerijpte klei, keileem) in het ondiepe bodemprofiel	Dubbele drainage kan worden toegepast bij ondiepe slecht doorlatende lagen, waar geen ruimte is om een regenwaterlens te laten groeien.
Drainagebehoefte	Ondiepe grondwaterstand
IJzer in bodem of water	Kan verstopping veroorzaken

3.2 Potentiekaarten en beslisboom

Op basis van fysische eigenschappen van het water- en bodemsysteem is door Kaandorp et al. (2021) per locatie bepaald hoe kansrijk een techniek is. Deze potentiekaarten, ook wel kanskaarten genoemd, geven deze potentie weer op een kaart en geven daarmee inzicht in de opschaalbaarheid van de oplossing. In dit hoofdstuk wordt een kort overzicht van deze kaarten gegeven.

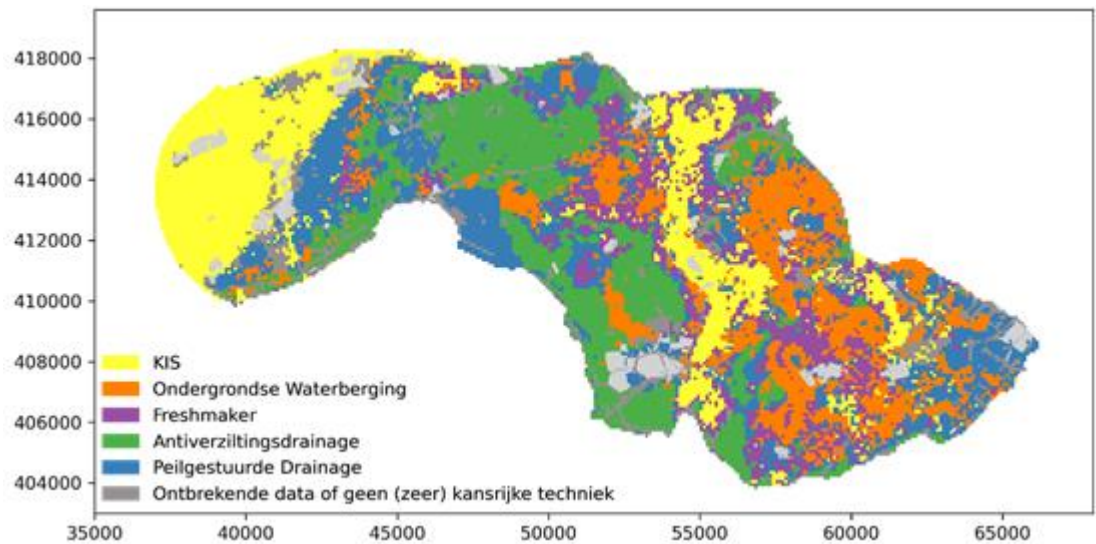
De potentiekaarten zijn per techniek opgesteld. Hiervoor zijn de factoren bepaald die van belang zijn voor toepassing van de techniek (zie ook geschiktheidsfactoren in Hoofdstuk 3.1). Van deze factoren zijn regionale gegevens verzameld, en zijn deze gecombineerd middels rekenregels om tot gebiedsdekkende kaarten te komen. Hieronder is ter voorbeeld de potentiekaart van het Kreekrug Infiltratie Systeem weergegeven. Deze kaarten kunnen worden gebruikt in de oriëntatie- en quickscanfase om een eerste indruk te krijgen van de kansrijke technieken. Belangrijk hierbij is dat er daarna (in een haalbaarheidsstudie) altijd lokale informatie moet worden opgehaald middels bijvoorbeeld veldmetingen, om de regionale data die is gebruikt in de kaarten te valideren. Alle kaarten zijn beschikbaar in Kaandorp et al., 2021.



Figuur 3.1 Potentiekaart voor het Kreekrug Infiltratie Systeem (Kaandorp et al., 2021).

3.2.1 Potentiekaart gecombineerd

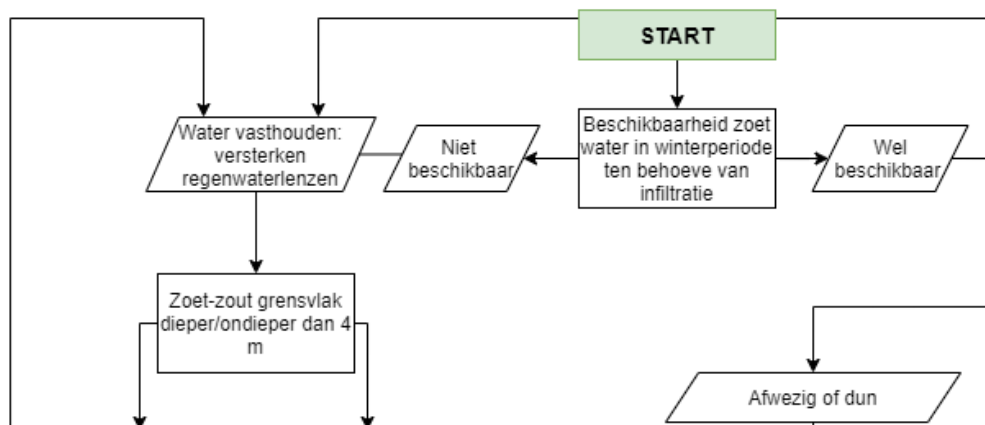
De potentiekaarten van de verschillende technieken zijn door Kaandorp et al. (2021) gecombineerd om een kaart te maken die per locatie de meest kansrijke techniek geeft. Op de resulterende kaart is te zien dat op de hoger gelegen zandige gronden van de duinen en kreekruggen ondiepe infiltratie middels het Kreekrug Infiltratie Systeem de meest kansrijke maatregel is. Voor de lager gelegen poelgronden tussen de duinen en kreekrug zijn verschillende maatregelen kansrijk. De Freshmaker of ondergrondse waterberging daar waar een geschikt zandpakket in de ondergrond aanwezig is. Op de overige locaties in dit gebied is veelal Antiverziltingsdrainage mogelijk. Het poldergebied ten oosten van de kreekrug is wat zoeter waardoor antiverziltingsdrainage niet kansrijk is. Ten opzichte van de centrale poelgronden is hier ondergrondse waterberging op veel locaties een kansrijke maatregel doordat er hier (diepere) zoete zandlagen voorkomen.



Figuur 3.2 Gecombineerde potentiekaart met de meest kansrijke techniek per locatie (Kaandorp et al., 2021).

3.2.2 Beslisboom

Door Kaandorp et al. (2021) is een beslisboom opgesteld welke de achterliggende overwegingen van de potentiekaarten via een stappenplan duidelijk maakt. Met deze beslisboom wordt de gebruiker via een aantal vragen over bijvoorbeeld de ondergrond naar een van technieken geleid (Figuur 3.3). De beslisboom is gedurende het project uitgebreid met dubbele drainage en is opgenomen als Bijlage 1.



Figuur 3.3 Fragment uit de Beslisboom. De volledige versie is als Bijlage 1 opgenomen.

3.3 Overzicht aandachtspunten wet- en regelgeving

Op het toepassen van maatregelen en technieken in het bodem- en grondwatersysteem zijn verschillende wetten en regels van toepassing die hieronder per maatregel worden beschreven. Omdat regelgeving op dit vlak volop in beweging is moeten de hieronder genoemde aspecten als aandachtspunten worden beschouwd. Bij toepassing moet altijd bij de juiste instanties worden nagegaan welke regels op dat moment gelden.

3.3.1 Aanleggen van stuwtdjes

In principe kunnen stuwtdjes in waterlopen worden geplaatst, met uitzondering van primaire waterlopen. Belangrijk aspect is dat buurpercelen akkoord dienen te gaan met (het nieuwe) waterpeil. Er is mogelijk een watervergunning nodig via het Waterschap.

3.3.2 Aanleggen drainagesystemen

Bij het aanleggen van drainage is bij primaire en secundaire watergangen afhankelijk van het type uitstroomconstructie in het sloottalud mogelijk een vergunning nodig.

3.3.3 Infiltratie boven de grondwaterstand (bijv. via het drainagesysteem)

Voor het vullen van (peilgestuurde) drainage is mogelijk een watervergunning of een melding nodig. Hierbij is er een verschil tussen het infiltreren met grondwater (meldingsplicht) en het vullen met oppervlaktewater (vergunningsplicht).

3.3.4 Infiltratie onder de grondwaterstand (bijv. via diepdraains of onder kleilaag)

Voor infiltratie onder de grondwaterstand gelden andere regels en is er een vergunningsplicht. Hierbij dient het infiltratiewater te worden onderzocht op eventuele verontreinigingen (Grondwaternota 2019). Op dit moment (2022) wordt door het waterschap het verplichte analysepakket herzien.

3.3.5 Onttrekken van grondwater

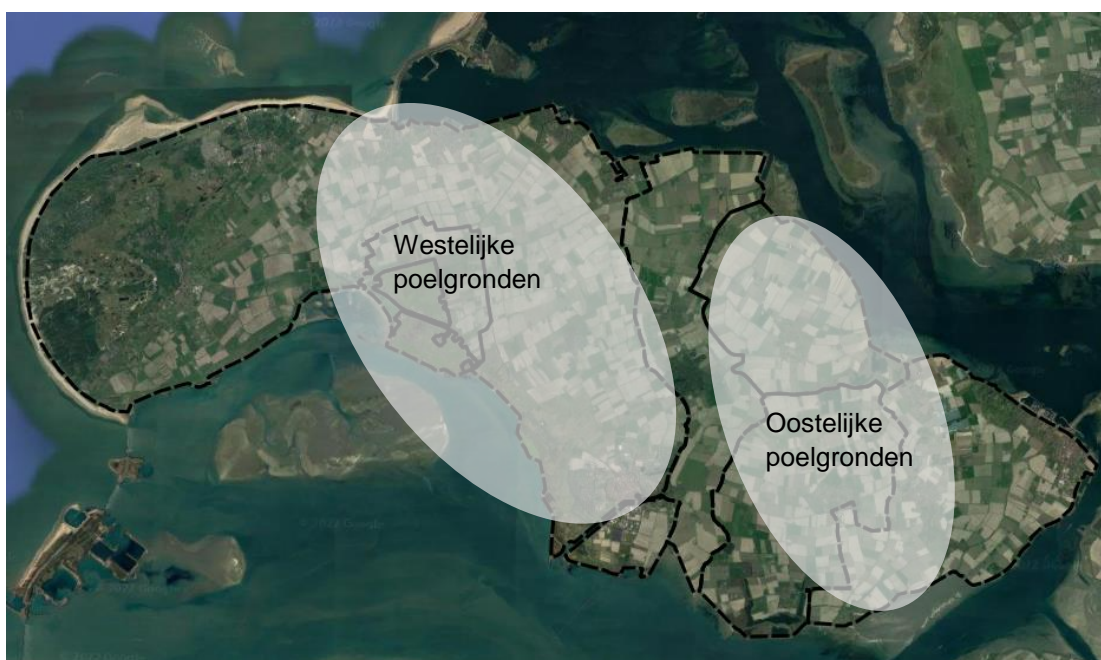
Het onttrekken van grondwater is niet overal toegestaan. In Zeeland is onttrekken alleen toegestaan met horizontale onttrekkingsputten en uit zoetwatervoorkomens (>15 m zoet water) en buiten kwetsbare gebieden. Daarnaast zijn er maximale debieten waarboven een vergunningsplicht geldt. Indien er ook wordt geïnfiltreerd is een vergunning mogelijk middels een hydrologische studie. Hetzelfde geldt voor onttrekken met verticale putten.

4 Toepassing Methodiek in de Poelgronden

4.1 Quickscans

Quickscans zijn uitgevoerd voor ondernemers verspreid over het eiland. De ervaringen en uitkomsten van de quickscans worden hier beknopt beschreven. Hiervoor is onderscheid gemaakt tussen twee gebieden:

- Poelgronden west (westelijk van kreekkrug)
- Polders oost (oosten van kreekkrug)



Figuur 4.1 Kaart met locaties van de westelijke en oostelijke poelgronden.

4.1.1 Groep 1. Poelgronden west (Scharendijke – Brouwershaven – Kerkwerve)

De poelgronden in dit gebied zijn laag gelegen, veelal tussen -1 en -2 m+NAP. De bovengrond bestaat voornamelijk uit lichte tot zware zavel en klei. Plaatselijk komen ook veen en gerijpte klei voor. Het oppervlaktewater is brak tot zout en watert via gemalen af naar het Grevelingenmeer en de Oosterschelde. In het gebied is sprake van een kwelsituatie waarbij zout grondwater al op kleine diepte voorkomt. De zoute kweldruk is het hoogst dicht bij het Grevelingenmeer en de Oosterschelde en lager centraal in de poelgronden.

In het gebied komt met name grasland en vollegronds-akkerbouw voor. Uit de gesprekken met ondernemers is gebleken dat er op dit moment niet wordt berekend. Wel experimenteren enkele ondernemers met druppelirrigatie. De percelen zijn gedraineerd, soms vrij ondiep (ca. 80 cm-mv) door de lage ligging, zware grond en hoge kweldruk.

Ondernemers ervaren droogte als een probleem met name in de kiemperiode. Zelfs in droge jaren is schade door droogte later in de zomer beperkt als het gewas goed opgekomen is door de goede vochtlevering van de bodem. De watervraag is dus met name vroeg in het seizoen, om een kleine gift (~20 mm) beschikbaar te hebben bij het kiemen. Waterschade door de lage ligging van percelen wordt vaak als groter probleem ervaren. Het neerslagoverschot in de winter is voldoende om droogteschade te kunnen voorkomen, maar het vasthouden / opslag van dit water is de beperkende factor.

Parameter	Bevindingen
Hoogteligging	Laag: ca. -1,0 tot -2,0 m+NAP
Ondergrond	Bonte gronden. Klei tot kleilig zand tot ca. 15 – 18 m-mv. Voorkomens van zware klei. Hieronder een zandige laag.
Oppervlaktewater	Brak / zout. Afwatering via gemalen naar Grevelingenmeer en Oosterschelde
Kwel / infiltratie	Zoute kwel
Diepte zoet-zout grensvlak	Overwegend 1 tot 2 m-mv. Lokaal dieper (3-10 m-mv).
Drainage	Ja, diepte variërend tussen 0,55 – 1,20 m-mv.
Landgebruik	Vollegrondsteelten, graszaad, melkveehouderij.
Huidige problemen	Wateroverlast door zware klei. Droogte bij kiemen. Zoute kweldruk.

4.1.2 Groep 2. Polders oost

Dit gebied ligt iets hoger dan de percelen in groep 1. De percelen liggen soms nu al op kleine zoetwaterbellen. Op dit moment wordt daar niet uit beregend. De ondernemers hebben interesse in druppelirrigatie als zoet water beschikbaar zou zijn.

Door de iets hogere ligging is er over het algemeen geen of een veel beperktere kweldruk aanwezig dan in de westelijke groep. Deze hogere ligging is ook terug te zien in de zoutmetingen in het oppervlaktewatersysteem. De hoofdwatgangen zijn jaarrond gevuld en zout. Secundaire en tertiaire watgangen vallen in de zomer droog en zijn zoeter. De primaire waterlopen zorgen ook voor verzilting van de kleinere waterlopen bij peilopzet. Aanvullende metingen tijdens de quickscans tonen aan dat het drainwater ook (plaatselijk) zoet is vanaf de herfst. Uit metingen in het najaar van 2020 blijkt dat het drainwater zout is (EC van 3,5 mS/cm).

Parameter	Bevindingen
Hoogteligging	Laag: ca. 0,0 tot 1,0 m+NAP
Ondergrond	Bonte gronden. Klei tot kleilig zand tot ca. 15 – 18 m-mv. Voorkomens van zware klei. Hieronder een zandige laag.
Oppervlaktewater	Brak / zout. In zomer vallen de secundaire waterlopen vaak droog. Afwatering via gemalen naar Grevelingenmeer en Oosterschelde
Kwel / infiltratie	Zeer lichte kwel/ tot infiltratie
Diepte zoet-zout grensvlak	Overwegend 3 tot lokaal 10 m-mv).
Drainage	Ja, diepte variërend tussen 1,00 – 1,40 m-mv.
Landgebruik	Vollegrondsteelten, Fruitteelt, melkveehouderij.
Huidige problemen	Wateroverlast is beperkt. Door droogval geen water in de sloten. Grote waterlopen zout en doorsnijden zoete(re) gebieden.

4.1.3 Oplossingsrichtingen

Op basis van deze gegevens zijn enkele opties geadviseerd. Deze adviezen zijn tijdens de quickscans specifiek voor bepaalde percelen gedaan en worden hier op hoofdlijnen voor het gebied beschreven.

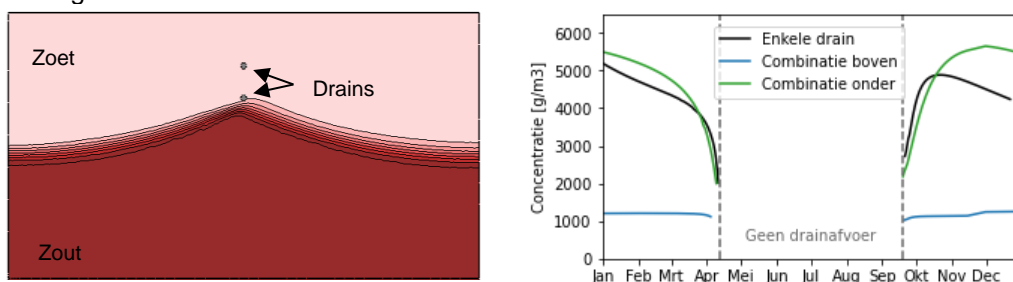
4.1.3.1 Waterbronnen

Er zijn twee mogelijk waterbronnen in het gebied aanwezig. Ten eerste is dit het afvangen van hemelwater van daken op het bedrijf of vanuit bebouwd gebied, ten tweede is dit het vasthouden in of afvangen van zoet water vanuit de drainage.

Belangrijke factor in het advies is de hoogteligging van het perceel. Relatief hogere percelen kenmerken zich door een grotere drooglegging, iets lichtere gronden en lagere grondwaterstanden. Daarnaast is de kweldruk op de hoger gelegen percelen geringer dan op de lager gelegen percelen. Tot slot is de afstand tot een zoetwaterbron van groot belang. Deze verschillen in het watersysteem van de percelen en afstand tot bronnen hebben in overleg met de agrariërs geleid tot meerdere oplossingsrichtingen.

Bij opvang van drainagewater worden de drains aangesloten op een verzamelleiding en aangesloten op een stuurput. Het doel van peilgestuurde- en antiverziltingsdrainage is om zoet water langer in het perceel vast te houden. Door het uitstroomniveau van het drainagesysteem te verhogen kan meer water in de ondergrond van het perceel vastgehouden worden. Idee is dat bij (te) natte omstandigheden de grondwaterstand kan worden verlaagd door aanpassen van het uitstroomniveau. Aandachtspunten zijn onder andere dat de grond voldoende doorlatend is, de drooglegging voldoende is voor verhoging van de grondwaterstand gedurende een deel van het jaar, de kwelsituatie en het risico op verstopping en natschade. Om de reeds aanwezige regenwaterlenzen te versterken moet de ondiepe ondergrond voldoende doorlatend zijn en geen gerijpte klei bevatten.

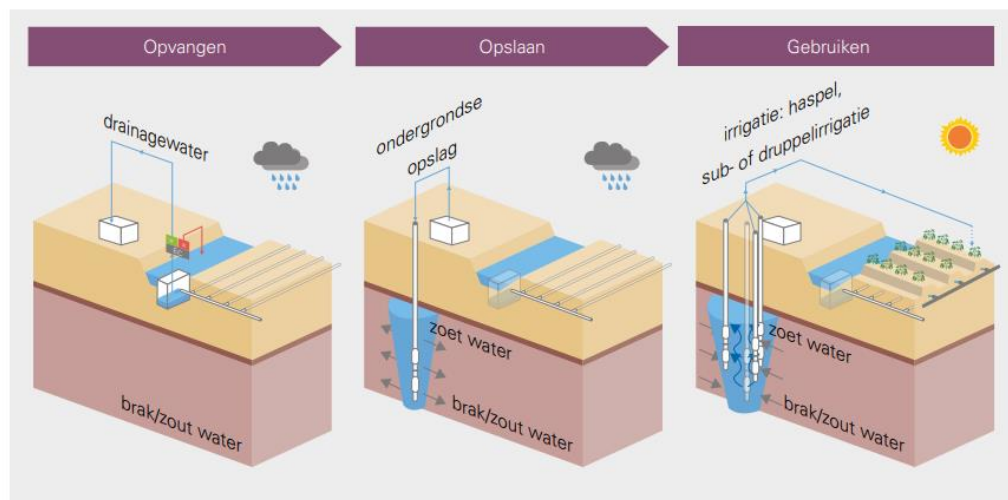
In de quickscans is een andere maatregel uitgewerkt voor locaties in de poelgronden die niet voldoen aan bovenstaande voorwaarden. Hier kan mogelijk de aanleg van gecombineerde (dubbele) drainage de kans dat zoet water wordt opgevangen, vergroten. Hierbij wordt drainage op twee dieptes aangelegd, waarbij het diepere systeem zoute kwel afvangt en het ondiepere systeem overwegend (zoete) neerslag afvoert. Het ondiepere systeem wordt dan gebruikt als bron van zoet water. Modelsimulaties met SVflux door Gevaert et al. (2022) tonen aan dat het concept van dubbele drainage kan werken (Figuur 4.2). Aandachtspunten zijn de lokale kwelsituatie, de bodemopbouw, en het ontwerp van het (bestaande) drainagesysteem. Het zoete water wordt niet direct in de ondiepe ondergrond opgeslagen maar moet worden opgeslagen in een bovengronds bassin, waterloop of in een ondergrondse zoetwaterbel.



Figuur 4.2 Modelresultaten van dubbele drainage waarbij de onderste drain zoute kwel afvangt en de bovenste drain relatief zoet water afvoert, gebaseerd op een dwarsdoorsnede van het zoutgehalte in de ondergrond (links) en een tijdreeks (rechts).

4.1.3.2 Opslag

Bij ondergrondse opslag wordt zoet water geïnjecteerd in de ondergrond met behulp van een put (Figuur 4.3). Bij een zoetwatervraag in droge perioden kan het water weer opgepompt worden. Door ondergrondse waterberging kan een grote hoeveelheid water worden opgeslagen, maar is het rendement relatief laag. Uit de quickscans blijkt dat op basis van de ondergrond ondergrondse opslag mogelijk lijkt op enkele locaties waar meerdere percelen op elkaar aansluiten. Reden hiervoor is dat voor ondergrondse opslag een groter systeem effectiever is dan een kleiner systeem. Aandachtspunten zijn onder andere de aanwezigheid van een zandige laag in de ondergrond, de stroomsnelheid van het grondwater in de zandlaag, en het zoutgehalte van de ondergrond.



Figuur 4.3. Eigen watervoorziening door ondergrondse opslag van drainagewater (bron: Spaarwater, Acacia Water, 2019).

Opties Waterbronnen	Opties Wateropslag
Afvangen hemelwater van daken (schuren)	Bovengrondse bassins
Afkoppelen bebouwd gebied	Afkoppelen watergangen
Beperken van afstroom drainwater	Ondergronds in zandlaag onder bovenste kleilaag.
Afvangen van afstromend drainwater	Versterken regenwaterlenzen in perceel middels antiverziltingsdrainage

4.2 Haalbaarheidsstudies

In de tweede fase van het project is op basis van de quickscans een selectie gemaakt van 5 (clusters van) bedrijven die in aanmerking komen voor een haalbaarheidsstudie. Deze haalbaarheidsstudie bestaat uit een gedetailleerde analyse van de bodem en (grond)water situatie, de watervraag- en aanbod, een waterkwaliteitsanalyse en een kosten-baten analyse op basis van een voorlopig ontwerp. In het voorlopig ontwerp is daarbij verder ingezoomd op de bouwplannen van de agrariërs, de gewenste waterbeschikbaarheid en de ligging van de percelen.

4.2.1 Teelt en bedrijfsvoering

De onderzochte percelen worden gebruikt voor akkerbouw, onder een rotatie van onder andere aardappel, ui, suikerbieten, granen en graszaad. Bij een grotere beschikbaarheid van zoet water staat de ondernemer open voor meer renderende teelten en/of meer variatie in het bouwplan. Er is geëxperimenteerd met druppelirrigatie, en daar gaat ook de voorkeur naar uit binnen het haalbaarheidsonderzoek.

4.2.2 Inventarisatie problemen en watervraag

De ondernemers ervaren problemen met verzilting vanwege de hoge kweldruk. Het oppervlaktewater in het gebied is door het hele jaar zout. Ondernemers zijn daardoor gestopt met de teelt van gevoelige gewassen, zoals zaaiuien. Bij grote neerslagbuien ondervindt men ook (plaatselijk) wateroverlast door de lage ligging en zware gronden. Droogte komt voornamelijk voor aan het begin van het seizoen tijdens het kiemen.

Daarom is er voornamelijk water vereist voor de kiemfase van gewassen (aardappel en ui). Tijdens deze fase kan relatief weinig water de opkomst en doorgroei van gewassen vergroten. Voor ui is er aanvullend water nodig voor de groei. Daarbij is de wens dat de EC van het water maximaal 1–1,2 mS/cm is voor het kiemen en maximaal 2 mS/cm voor het beregemen van planten gedurende het groeiseizoen.

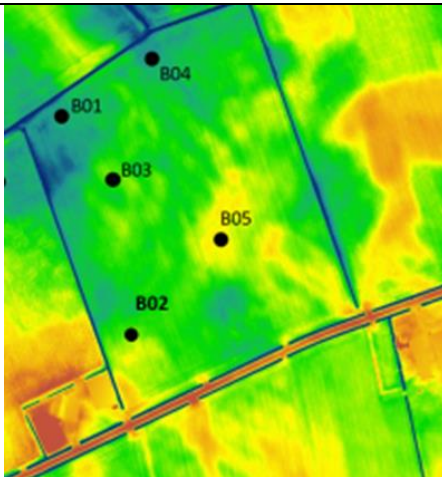
Op de hogere percelen is in de afgelopen jaren droogte als probleem ervaren, waarbij sprake is van droogteschade. Verzilting wordt niet als probleem ervaren omdat de zoute kweldruk hier beperkt is.

4.2.3 Inventarisatie bodem

De hoger gelegen percelen laten overeenkomstige bodemopbouw zien, terwijl de lagere percelen op korte afstand veel variatie hebben. Binnen 1 perceel werd bijvoorbeeld de bovenkant van de ongerijpte klei aangetroffen vanaf 50 cm onder maaiveld tot helemaal niet binnen 160 cm (Tabel 4.1). Dit vraagt bij de aanleg van een drainagesysteem om een uitgebreide bodemanalyse en bij diepere drainage mogelijk ook een aanvulling rondom de drainagebuizen met bijvoorbeeld zand.

Tabel 4.1 Overzicht dieptes ongerijpte klei.

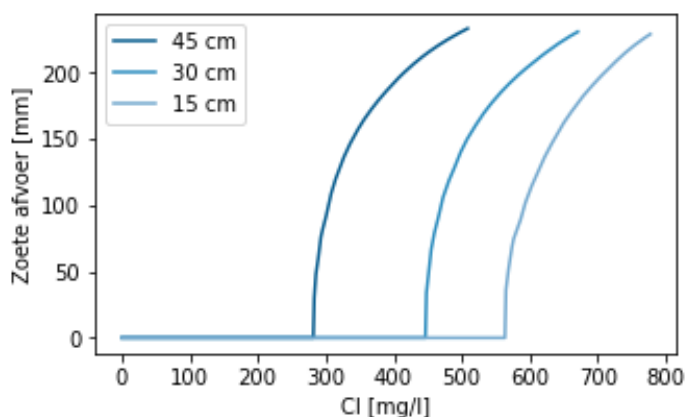
Locatie	Diepte ongerijpte klei
B01	Tot 160 cm diepte niet aangetroffen
B02	Tot 160 cm diepte niet aangetroffen
B03	Vanaf 50 cm begint ongerijpt te worden
B04	Tot 140 cm diepte niet aangetroffen
B05	Vanaf 1 m diepte



4.2.4 Hydrologische haalbaarheid

Op basis van de gegevens vanuit de quickscans en de lokale informatie van de percelen die zijn opgehaald in de haalbaarheidsstudies zijn de oplossingsrichtingen uit de quickscans doorgerekend en beoordeeld op hun haalbaarheid.

In de haalbaarheidsstudies is voor 3 van de 5 locaties geconcludeerd dat dubbele drainage de meest geschikte techniek is voor het opvangen van zoet water door de combinatie van hoge kweldruk en hoge zoutgehaltes van het drainwater. Dit systeem is echter nog niet in de praktijk getest. Uit berekeningen blijkt dat hoeveel zoet water kan worden opgevangen met dubbele drainage sterk afhankelijk is van de afstand tussen de twee drainageniveaus en van het toegestane maximum zoutgehalte van beregeningswater (Figuur 4.4). Bij een afstand van 45 cm tussen de drainageniveaus en een toegestaan zoutgehalte van 325 mg/l (EC ongeveer 1,8 mS/cm) kan jaarlijks 140 tot 150 mm water worden opgevangen uit de bovenste drain. Bij een lagere grenswaarde of een kleinere afstand tussen drainageniveaus neemt de hoeveelheid water dat kan worden opgevangen sterk af. Tegelijkertijd is het belangrijk dat de onderste drain goed functioneert, en dat de doorlatendheid van de bodem op die diepte voldoende is.



Figuur 4.4. Verband tussen berekende afvoer en gemiddelde chloride gehalte na opvangen van dat water bij verschillende afstanden tussen de drainageniveaus.

Door de grote variatie van de ondergrond zal het voorkomen van een slecht doorlatende laag, bijvoorbeeld ongerijpte klei, bepalend zijn voor de afstand tussen de drainageniveaus. In enkele gevallen bleek het hydrologisch rendabeler om slechts een deel van het perceel te draineren met een juiste afstand tussen de drains dan het gehele perceel te draineren op een minder gunstige afstand tussen de drains.

System	Oppervlakte in ha	Waterbeschikbaarheid in mm	Volume in m ³
Dubbele drainage	10	140 mm uit drains (325 mg/l Cl, drains 45 cm uit elkaar)	14.000
Anti verziltingsdrainage	10	100 mm in perceel	10.000

Ten aanzien van de wateropslag is gebleken dat het grondwater op grote diepte ten westen van de kreekrug te zout is om zoet water in te kunnen opslaan. Ook het verzamelen van het drainage water en het transporteren met leidingen is te ingewikkeld om tot een bruikbaar systeem te komen. Daarom is wateropslag het meest haalbaar in bovengrondse bassins. Het benutten van bestaande watergangen is vanwege de rietgroei en het geringe volume niet rendabel. In feite kan dat alleen als de sloot geen afwaterende functie heeft en verder geheel wordt ingericht als een bassin, volledig afgesloten van het (grond-)watersysteem.

Bij antiverziltingsdrainage speelt dit opslag probleem niet. Uit berekeningen blijkt dat de zoetwatervoorraad in het perceel met antiverziltingsdrainage aan het begin van het groeiseizoen toe neemt met ongeveer 100 mm. Dit water wordt opgeslagen in het perceel, waardoor het alleen als grondwater en bodemvocht beschikbaar is voor het gewas dat op dat moment op het perceel staat.

Antiverziltingsdrainage is hydrologisch alleen een haalbare techniek als er lichte kweldruk aanwezig is en de ondergrond redelijk doorlatend is. Bij 2 van de 5 locatie trad deze combinatie van factoren op. Mogelijk aandachtspunt is het risico op verstopping van de gekoppelde drainagebuizen.

Voor ieder van de 5 (clusters van) bedrijven is de meest haalbare maatregel bepaald en uitgewerkt tot een eerste concept ontwerp. Hieronder zijn de verschillen van de twee oplossingsrichtingen weergegeven (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Vergelijk van de twee haalbare oplossingsrichtingen in de poelgronden en polders.

	Dubbele drainage en opslag in bassin	Antiverziltingsdrainage en opslag in perceel
Water beschikbaar voor meerdere percelen	Ja	Nee, alleen perceel waar systeem wordt aangelegd
Water te gebruiken voor het kiemen van gewassen	Ja	Nee, worteldiepte is naar verwachting te ondiep
Keuze tussen irrigatie methoden haspel en/of druppel	Ja	Nee
Efficiëntie van watergebruik	Afhankelijk van irrigatiemethode	Mogelijk laag, gedeelte kan wegstromen
Gebruik van water voor beregenen pootgoed	Indien wettelijk toegestaan ja	Alleen water dat via perceel pootgoed ten goede komt
Flexibel watergebruik	Ja, water kan vanuit bassin worden gebruikt wanneer aanwezig gewenst	Nee, water zit opgeslagen in perceel en kan niet gestuurd worden
Geheel areaal beschikbaar voor gewasteelt	Nee, gedeelte grond wordt gebruikt voor aanleg van bassin	Ja
Kosten in m³ per jaar representatief voor beschikbare volume	Ja, m ³ per jaar-kostprijs is gebaseerd op beschikbare water in bassin	Beperkt, m ³ per jaar-kostprijs is berekend op beschikbare water in perceel, maar kan afwijken door externe factoren (zoals wegstroming)
Bestaande techniek	Nee, conceptueel werkt het systeem, maar is nog niet in de praktijk aangelegd	Ja

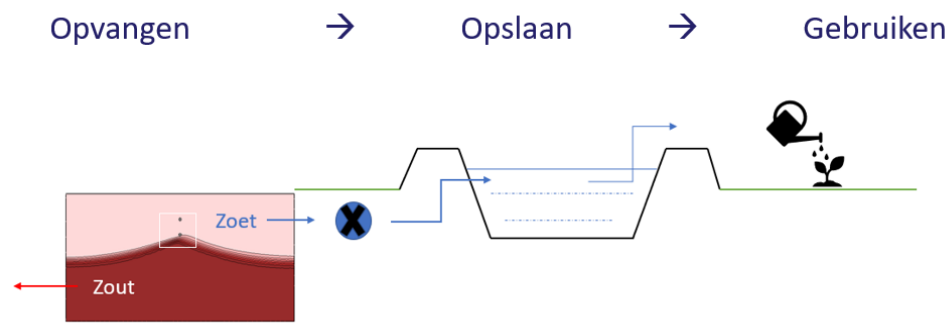
4.2.5 Economische haalbaarheid

4.2.5.1 Kosten

Op basis van het systeemontwerp, de bouwplannen en bijhorende gewasprijzen is een kosten-batenberekening gemaakt (o.a. Gevaert et al., 2022). Daarbij zijn voor elk systeem de volgende stappen op kosten gezet:

1. Zoetwater opvangen,
2. Zoetwater opslaan (in een waterbassin, door middel van een pomp, of in het perceel)
3. Zoetwater gebruiken. Bij opslag in een bassin kan men het water gebruiken met haspelberegening en/of druppelirrigatie. Bij antiverziltingsdrainage is het gebruik door nalevering vanuit de bodem in het perceel zelf.

Voor elk systeem zijn, op basis van werkelijke offerte-aanvragen bij een drainagebedrijf, de kosten voor de verschillende systemen bepaald (prijspeil 2021).



Figuur 4.5. Samenstelling van componenten (opvangen, opslaan en gebruiken)

- Zoet water opvangen

De kosten voor het opvangen van het water is sterk afhankelijk van de toegepaste methodiek en de lokale situatie. Voor antiverziltingsdrainage zijn de investeringskosten berekend rond € 2500,- / ha over een levensduur van 15 jaar. Bij dubbele drainage zijn de investeringskosten berekend op € 6000,- / ha voor de aanleg van het opvangen van het water. Het ontwerp voor het opvangen van zoet water bij dubbele drainage bestaat hierbij uit bovendrainage, onderdrainage en een zandkoffer. De kosten zijn gebaseerd op een ontwerp met dubbele drainage om de 8 meter, opgesteld in samenwerking met drainagebedrijf Scaldis. Het zoete water dat beschikbaar komt door dubbele drainage is afhankelijk van het areaal waarop het systeem wordt aangelegd, het toegestane zoutgehalte en de drainafstand.

- Zoet water opslaan

Bij antiverziltingsdrainage vindt het opvangen (en opslaan) van het water gelijktijdig plaats en wordt het opslaan niet apart berekend. Bij dubbele drainage moet een waterbassin worden aangelegd om het beschikbare water uit dubbele drainage op te slaan. Hierbij is een pomp benodigd om het water te transporteren naar het bassin. Als raming voor een compleet pompsysteem op netspanning wordt uitgegaan van eenmalige investeringskosten van €12.500,- (960 m³ per dag) tot € 25.000,- (2.240 m³ per dag) (prijspeil 2021).

De kosten van een waterbassin zijn sterk afhankelijk van specifieke omstandigheden. Over het algemeen worden regenwater bassins aangelegd vanaf een volume van ongeveer 2.500 m³ en hebben een gemiddelde levensduur van 15 jaar. Het maximale technisch haalbare volume van een bassin is afhankelijk van de grondbalans en de maximaal toegestane hoogte van de dijken. Tabel 4.3 geeft een globale indicatie van de kosten van een waterbassin. Een overige kostenpost is de grond waar het bassin op wordt geplaatst. Deze grond kan na aanleg niet worden gebruikt voor gewasteelt en verliest daarmee het bijhorend opbrengend vermogen. Deze kosten zijn niet meegenomen in voorliggende analyse.

Tabel 4.3 Kosten waterbassin per inhoudsmaat op basis van meerdere offerteaanvragen.

m ³	€ per m ³
5.000	€ 4,00
10.000	€ 3,40
15.000	€ 3,20
20.000	€ 2,25
25.000	€ 1,80

- Zoet water gebruiken

Gebruik van beregeningsmethoden heeft ook invloed op de rentabiliteit: haspel versus druppelirrigatie beïnvloedt de waterefficiëntie (en dus oppervlakte te beregenen) en de kosten (druppel is duurder per hectare, maar heeft wel minder waterverlies). Daarbij wordt er met haspelberegening veelal meerdere giften gegeven per hectare. Onderstaande kosten zijn kosten voor slechts één gift van 20-25 mm (Voort, 2019). De kosten voor druppelirrigatie zijn voor bovengrondse druppel op basis van Gevaert et al. (2020).

Tabel 4.4 Kosten watergebruik.

Techniek	Kosten	Eenheid
Haspel	€ 200	per gift van 20 – 25 mm
Bovengrondse druppel	€ 1.000	per hectare
Antiverziltingsdrainage	n.v.t	

4.2.5.2 Baten

Bij de investeringsafweging door een agrariër staan de opbrengsten, of 'prijsvorming van het eindproduct', centraal. De opbrengsten bepalen of de investering bijdraagt aan een duurzame en gezonde bedrijfsvoering. Het doel van de batenbepaling is aantonen wat de meeropbrengst is van zoet waterbeschikbaarheid door de voorgestelde maatregelen. Ieder bedrijf heeft een andere bedrijfsvoering, verbouwt verschillende gewassen en heeft daarmee een andere waterbehoefte. In het begin van het project zijn alle boeren individueel benaderd met de vraag om in te schatten welke opbrengst zij denken te kunnen behalen op het moment dat er water beschikbaar is. Deze informatie is gebruikt om de baten van de maatregelen te bepalen.

Gegarandeerd zijn van een opbrengst met hoge kwaliteit gewassen in tijden van droogte is doorslaggevend voor de haalbaarheid van de investering. Een agrariër kan hierdoor een concurrentievoorsprong halen op de markt en inkomsten garanderen. Deze meeropbrengst bij waterbeschikbaarheid is afhankelijk van een aantal factoren:

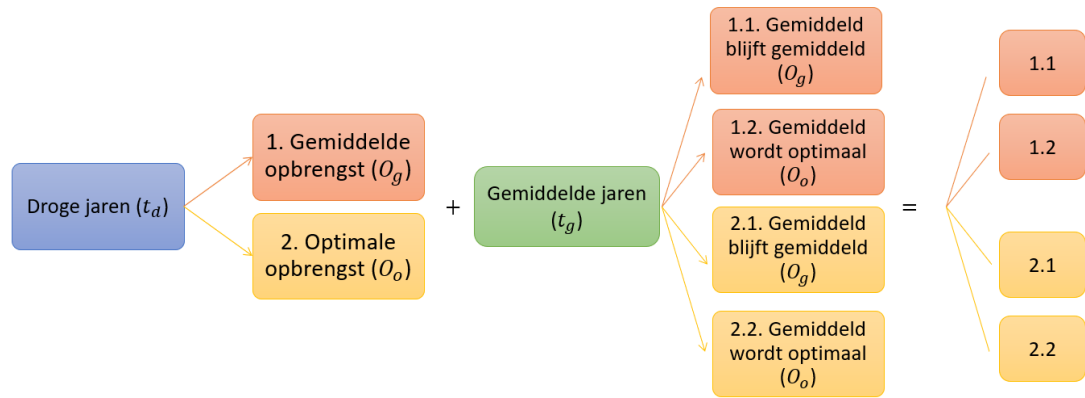
- Bouwplan inclusief gewasrotatie en areaal per gewas;
- Opbrengsten in een droog, gemiddeld en optimaal jaar;
- De verwachte terugkeertijd van droge jaren;
- Gewasprijzen.

Aan de hand van bovenstaande factoren kan de extra productiewaarde per hectare worden bepaald zodat duidelijk wordt hoeveel de investering bijdraagt aan de bedrijfsvoering. Om de meeropbrengst van zoetwaterbeschikbaarheid te bepalen, wordt de opbrengst in de huidige situatie vergeleken met de opbrengst in de toekomstige situatie wanneer er zoet water beschikbaar is.

De gemiddelde opbrengst per jaar in ton per hectare in de huidige situatie O_{nu} wordt bepaald door de opbrengst in een droog jaar O_d met bijhorende gewasprijs P en aantal droge jaren t_d , de opbrengst in een gemiddeld jaar O_g met bijhorende prijs P en aantal gemiddelde jaren t_g , gedeeld door het totaal aantal jaren t zo dat:

$$O_{nu} = \frac{(O_d * P * t_d) + (O_g * P * t_g)}{t}$$

Er zijn 8 toekomstscenario's (Figuur 4.6) doorgerekend met variatie in waterbeschikbaarheid en prijspeilen in droge jaren:



Figuur 4.6. Toekomstscenario's met waterbeschikbaarheid

- 1.1. In droge jaren een gemiddelde opbrengst behalen waar de gemiddelde opbrengst gemiddeld blijft;
- 1.2. In droge jaren een gemiddelde opbrengst behalen waar de gemiddelde opbrengst optimaal wordt;
- 2.1. In droge jaren een optimale opbrengst behalen waar de gemiddelde opbrengst gemiddeld blijft;
- 2.2. In droge jaren een optimale opbrengst behalen waar de gemiddelde opbrengst optimaal wordt.

Alle opbrengsten worden berekend in € per hectare per jaar, als gemiddelde voor het gehele bouwplan, gebaseerd op de terugkeertijd van droge jaren, het areaal per gewas en gewasprijzen. De verwachte gewasprijzen bij droogte zijn gebaseerd op basis van marktprijzen uit 2018 en de ervaringen van de agrariërs. De gewasprijzen zijn dus bedrijfsspecifiek en sluiten aan op de bedrijfsvoering van de agrariër. Dit geldt ook voor de verwachte opbrengst per perceel in droge jaren. Reden voor deze bedrijfsspecifieke benadering is dat droogte per perceel een andere invloed kan hebben en kengetallen daarbij geen recht doen aan de diversiteit van de percelen.

De resultaten zijn daardoor erg afhankelijk van bedrijfsspecifieke omstandigheden, zoals eigenschappen van percelen, teeltplan en type product. Er zijn echter wel enkele algemene conclusies te trekken:

- Hoge gewasprijzen in tijden van waterschaarste kunnen resulteren in substantiële concurrentievoorsprong wanneer agrariër systeem aanlegt en daarmee meer kans heeft op kwalitatief goede opbrengsten;
- Aan de hand van bouwplannen uit de regio, opbrengst inschattingen van agrariërs en regelmatige terugkoppeling kan geconcludeerd worden dat de systemen renderen met conservatieve berekeningen;
- Voor de dubbele drainage is een terugverdientijd berekend die kleiner is dan 10 jaar. Gezien het feit dat de techniek nog niet in de praktijk is uitgevoerd en er geen ervaring is met daadwerkelijke aanleg, onderhoud en opbrengst zullen de werkelijke uitkomsten d.m.v. langjarige monitoring moeten worden gevalideerd;
- Voor antiverziltingsdrainage is de terugverdientijd sterker afhankelijk van het aantal hectaren dat is aangelegd ten opzichte van het bedrijfsareaal. Dit komt doordat de baten sterk afhankelijk zijn van toeval, namelijk welk gewas er op het moment van droogte op het perceel met antiverziltingsdrainage staat. Uitgaande dat het gehele areaal geschikt is en voorzien is van antiverziltingsdrainage is de terugverdientijd tussen de 4 en 6 jaar. De veel lagere investeringskosten en de mogelijkheid om dit per perceel uit te rollen maakt de risico's voor deze oplossing minder risicovol.

Omdat er nog relatief weinig ervaring is met daadwerkelijke (onderhouds)kosten en opbrengsten moeten deze getallen met praktijkvoorbeelden verder worden onderbouwd;

- Verwacht wordt dat drogere jaren steeds vaker zullen voorkomen, wat de systemen kansrijk maken voor opschaling in de regio.

4.2.5.3 Kosten-baten tool

De resultaten uit de economische analyses zijn ondergebracht in een door Acacia Water ontwikkelde tool (Noordegraaf en Roelandse, 2022) waarmee agrariërs een inschatting kunnen maken van: I) de kosten van de verschillende systemen, en II) de opbrengsten op basis van het bouwplan en beregeningsbehoefte. Met deze tool wordt inzichtelijk wat de meeropbrengsten zijn van de verschillende systemen doordat er zoetwater beschikbaar komt ten opzichte van de kosten van de systemen. Agrariërs in Schouwen-Duiveland die buiten de haalbaarheidsstudie vallen, maar geïnteresseerd zijn in innovatieve manieren van zoetwateropslag, kunnen met de tool op bedrijfsniveau inzicht krijgen in de kosten en baten. Hiermee wordt de investeringsbeslissing ondersteund, wat mogelijkheid tot opschaling in de regio bevordert.

5 Toepassing Methodiek op de Kreekruggen

5.1 Quickscans

In totaal zijn vijf quickscans uitgevoerd bij clusters van agrarisch ondernemers (één tot drie) op de kreekruggen van het oostelijke deel van Schouwen-Duiveland. Globale informatie over geohydrologie, het watersysteem en waterkwaliteit van grond- en oppervlaktewater is opgehaald uit openbare bronnen, zoals GeoTOP/REGIS, DINOket en databases van provincie (o.a. FRESHM) en waterschap. In keukentafelgesprekken met de deelnemende ondernemers is informatie verzameld over teelt, watervraag, recente problemen met water (overlast, tekort) en reeds toegepaste watertechnologische oplossingen. Op basis hiervan is een inschatting gemaakt van de lokale bodemopbouw, beschikbaarheid van zoet water, de benodigde hoeveelheid zoet water, en het perspectief voor duurzaam beheer en/of uitbreiding van de aanwezige zoetwaterbel.

De meeste deelnemende agrariërs hebben een akkerbouwbedrijf waar uiteenlopende gewassen worden verbouwd, zoals aardappels, uien, suikerbieten, granen en diverse groenten. Enkele agrariërs zijn veetelers en hebben hoofdzakelijk grasland in eigendom. De meeste ondernemers hebben een relatief kleine watervraag, met name in het begin van het groeiseizoen ten tijde van het ontkiemen van gewassen. De meeste ondernemers hebben op een deel van hun percelen drainage toegepast. Enkele ondernemers hebben een diepdrain aangelegd om water uit de kreekrug te kunnen onttrekken. In de verschillende clusters wordt lokaal zowel natschade als droogte ervaren, maar er is geen sprake van een duidelijk patroon.

In alle onderzochte clusters komt een zoetwaterbel in de ondergrond voor van minimaal tien meter dikte, op een aantal locaties tot meer dan 15 meter en lokaal tot meer dan 20 meter. In het zuidoosten van het eiland is lokaal veel zoet water in de ondergrond aanwezig, maar dit is afgesloten door een dikke kleilaag van meer dan tien meter. Elders bestaat de ondiepe bodem veelal uit zand en zavel, hoewel lokaal kleilagen voorkomen. De diepere ondergrond tot circa 25 m-mv (kreekrugafzettingen) bestaat overwegend uit fijnzandige afzettingen met lokale kleilaagjes. In de meeste clusters zijn de primaire watergangen het gehele jaar watervoerend, maar deze voeren over het algemeen brak tot zout water af. Kleinere sloten zijn vaker zoet, maar voeren vooral water af na perioden van neerslag.

In alle clusters zijn perspectieven om de aanwezige zoetwaterbel uit te breiden of duurzaam te benutten. Op locaties waar de zoetwaterbel niet al te diep voorkomt en ondiep kleilaagjes voorkomen, is toepassing van een Freshmaker een optie. Hierbij wordt jaarrond brakwater onttrokken uit een horizontale drain uit de diepere ondergrond. Via een ondieper gelegen diepdrain wordt in de winter overtollig zoet water geïnfiltreerd, dat in het groeiseizoen via dezelfde ondiepe drain weer kan worden onttrokken. Bij het ontbreken van ondiepe kleilaagjes is een kreekrug infiltratie systeem (KIS) een betere optie. Hierbij wordt zoet water uit de omgeving via een peilgestuurd drainagesysteem in de winter geïnfiltreerd, terwijl in de zomer via horizontale diepdraains water kan worden onttrokken. In het zuidoosten van het eiland is voldoende zoet water onder een kleilaag aanwezig dat met verticale putten kan worden onttrokken, hoewel dit momenteel juridisch nog niet is toegestaan. Een belangrijk vraagstuk voor vervolgonderzoek (haalbaarheidsstudie) in alle clusters is de beschikbaarheid van zoet water. Oppervlaktewater is veelal zout en daarmee niet geschikt voor infiltratie. Het afvangen van afvoer uit bestaande of nieuwe drainage lijkt de beste mogelijkheid, maar dit hangt sterk af van de staat van de aanwezige drainage. Tot slot is peilopzet in een aantal gebieden een mogelijkheid.

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 5b
Zoetwaterlens (diepte onderzijde)	Noord: tot 11 m-mv; Midden: tot 15 m-mv Zuid: > 20 m-mv	Zuidelijk deel: tot 15-20 m-mv	Veelal 10-20 m-mv; lokaal > 20 m-mv	Noord en oost: 10-15 m-mv.	Tot 40 m-mv; lokaal 20-25 m-mv. Onder 12 m klei	Geen lens onder kleilaag
Geohydrologie	Bovengrond: zand/zavel; Ondergrond: fijnzandig, geschikt voor opslag. Kans op kleilaagjes	Bovengrond: lokaal zware klei. Ondergrond: fijnzandig, geschikt voor opslag. Kans op kleilaagjes	Bovengrond: zand/zavel. Ondergrond: fijnzandig, geschikt voor opslag	Bovengrond noord en oost: zandig. Ondergrond: fijnzandig, geschikt voor opslag. Mogelijk kleilaag op 11 m-mv	Geen kreekrug. Tot 12 m-mv kleilaag. Ondergrond: fijnzandig, lijkt geschikt voor opslag (doorlatendheid aandachtspunt)	Tot 12 m-mv kleilaag. Ondergrond: fijnzandig, lijkt goed doorlatend
Beschikbaarheid/aanvoer zoetwater	Bestaande drainage of oppervlaktewater; aanvoer via bestaande diepdraains	Drainagewater (indien goed werkend) of afgekoppeld hemelwater; aanvoer via diepdraains. Peilopzet?	Bestaande drainage, evt peilopzet; aanvoer via bestaande diepdraains	Drainagewater, aanvoer via bestaande diepdraains	Bestaande drainage, maar werking is aandachtspunt; zoet opp.water; RWZI-effluent?	Bestaande drainage, slootwater; evt hemelwater dorp of RWZI-effluent?
Samenwerking	3 ondernemers met verschillende belangen, wens op samen te werken	Aan zuidkant mogelijk met cluster 3	In noorden mogelijk met cluster 2	Evt. met deelnemer van quickscans poelgronden	2 ondernemers met dezelfde wensen.	dorp, aanvoer zoetwater
Optie 1	Noord: Freshmaker; voeding door drainage of opp.water. Peilopzet?	Zuid: Freshmaker; voeding door drainage of hemelwater via diepdraains.	West: Freshmaker waar mogelijk; voeding door drainage, via diepdraains, of peilopzet	Noord en oost: Freshmaker (afhankelijk van voorkomen kleilaag); voeding uit drainage via diepdraains	Verticale ASR. Voeding door opp.water, evt drainage, effluent? Freshmaker niet mogelijk	Freshmaker (creëren bel onder kleilaag), maar lijkt niet rendabel
Optie 2	Centraal: Freshmaker waar mogelijk; voeding door drainage of opp.water, via diepdraains.	Noord: aanvoer vanuit Freshmaker in zuidelijk deel (door dijk)	Freshmaker in westelijk deel, transportatie van water naar zuidoostelijk deel	Rest van percelen: aanvoer van water uit Freshmaker (optie 1)	Ondiepe bel: Freshmaker mogelijk, maar met aandachtspunten	Aanvoer van zoetwater voor bassins (hemelwater, effluent); geen ondergrondse opslag
Optie 3	Zuid: KIS; voeding door drainage of opp.water	Gezamenlijk beheer van lens met cluster 3	Noordoosten: gezamenlijk beheer van lens met cluster 2	Noord en oost: evt samenwerking met deelnemer poelgronden		

5.2 Haalbaarheidsstudie

Uit de vijf uitgevoerde quickscans is een cluster van drie agrariërs uitgekozen voor een vervolgstudie naar de haalbaarheid van zoetwateropslag in de kreekrug en de duurzame benutting hiervan. Het eerste deel van de haalbaarheidsstudie omvat een analyse van de bodem, (grond)watersituatie, watervraag en -aanbod en waterkwaliteit, waarbij ook aanvullende veldmetingen zijn uitgevoerd. Uit deze analyse zijn verschillende oplossingsrichtingen naar voren gekomen, die vervolgens in een modelstudie verder zijn onderzocht op effectiviteit en overige aandachtspunten. De meest geschikte maatregelen zijn uitgewerkt in een conceptueel technisch ontwerp met een eerste kostenraming. Tot slot bevat de haalbaarheidsstudie een voorstel voor een samenwerkingsvorm waarmee agrariërs binnen een cluster gezamenlijk het zoete water in de ondergrond duurzaam kunnen benutten en beheren.

Het geselecteerde cluster omvat ongeveer 80 hectare landbouwgrond, die in eigendom is van twee akkerbouwbedrijven en één melkveebedrijf. Het cluster wordt doorsneden door een dijk en wordt aan één kant begrensd door een kanaal. De hoogteligging in het projectgebied ligt rond de 0 m+NAP en varieert globaal tussen -0,5 m+NAP en 0,5 m+NAP. Het grondgebruik bestaat voornamelijk uit akkerbouw. De teelt wisselt per jaar en omvat onder andere aardappelen, uien, suikerbieten, maïs, zomergerst en verschillende groenten. Eén ondernemer heeft een melkveebedrijf (30 ha) met een areaal grasland. Deelpercelen zijn regelmatig in gebruik voor akkerbouw, zoals voor de teelt van uien en maïs. Tussen de veeteler en één akkerbouwer vindt uitwisseling van grond plaats voor de afwisseling van teelten volgens een bouwplan. De veeteler heeft twee diepdraains voor beregening in het zomerseizoen.

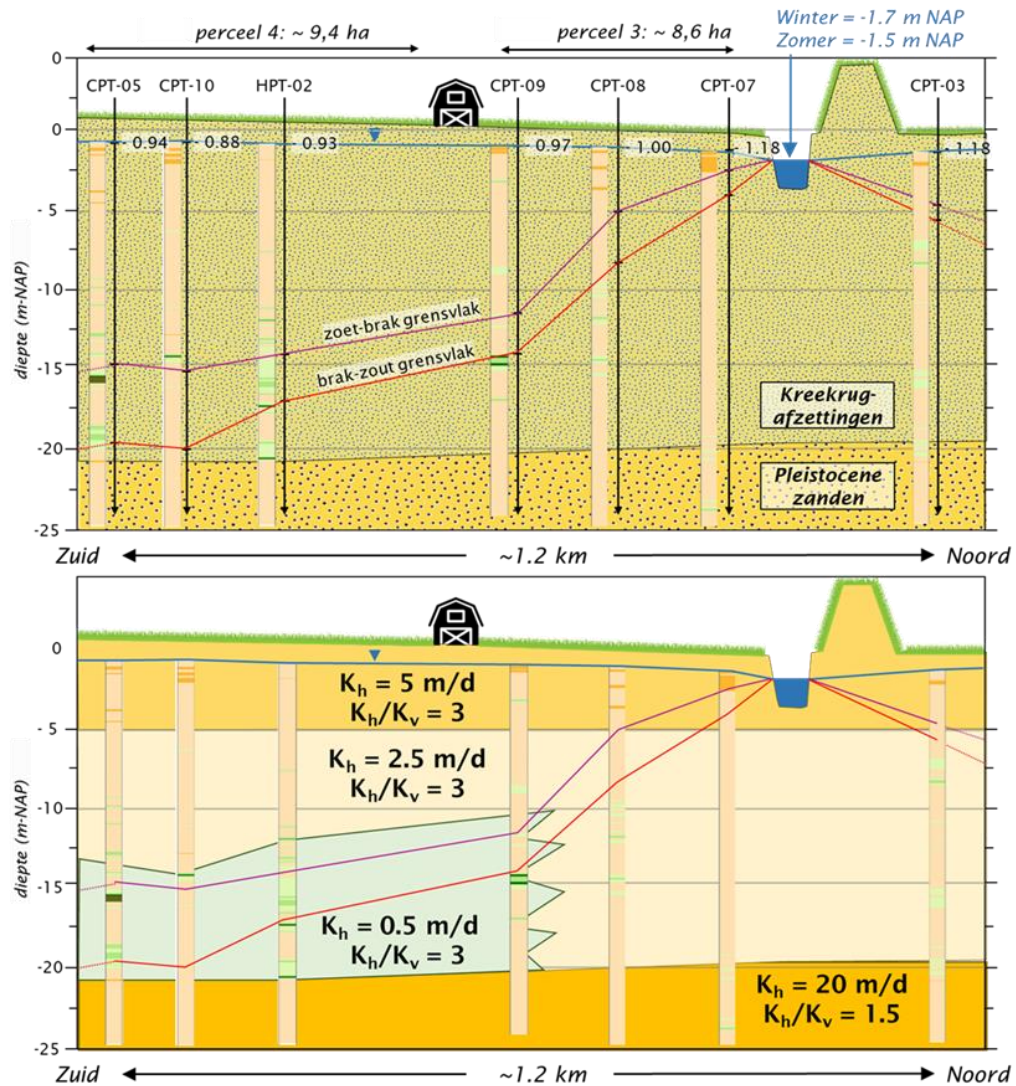
5.3 Geohydrologie en watersysteem

5.3.1 Bodemopbouw

In de quickscan is de bodemopbouw in het cluster globaal in beeld gebracht op basis van gegevens uit DINOloket. Om deze gegevens te kunnen valideren en de bodemopbouw ter plaatse nauwkeuriger in beeld te brengen, zijn sonderingen uitgevoerd tot circa 25 m-mv. In totaal zijn tien sonderingen uitgevoerd, waarvan acht reguliere sonderingen (CPT-sonderingen) en twee uitgebreide HPT-sonderingen. HPT-sonderingen zijn een uitbreiding op de reguliere sonderingen waarbij eveneens de horizontale en verticale doorlatendheid van de bodem op verschillende dieptes wordt bepaald door water te injecteren en te onttrekken.

Een schematische doorsnede van de ondergrond van het cluster van zuid naar noord is weergegeven in Figuur 5.1. De resultaten uit de sonderingen sluiten goed aan bij de inschatting van de bodemopbouw die is gemaakt in de quickscan. Het grootste deel van het projectgebied ligt op de kreekrug, bestaande uit fijn tot matig fijn zand tot circa 20 m-mv met afwisselend enkele storende laagjes. De precieze diepte van de storende laagjes kan op korte afstand verschillen. In een groot deel van het projectgebied komt rond 15 m-mv een storend laagje voor, en in het noorden ook op geringere diepte (5-9 m-mv). Er lijkt echter geen sprake van een regionaal voorkomende storende laag die in het gehele projectgebied wordt aangetroffen. Rond 20 m-mv bevindt zich de overgang naar pleistocene afzettingen, bestaande uit matig grof tot grof zand met een hogere doorlatendheid dan de kreekrugafzettingen. Aan de rand van het projectgebied ligt de overgang naar de poelgronden, met een kleiige en siltige bodemopbouw tot circa 15 m.

Op twee locaties zijn uitgebreide HPT-sonderingen uitgevoerd, waarbij op 5, 10 en 20 m-mv ook de horizontale en verticale doorlatendheid is bepaald en over de hele diepte een profiel van de horizontale doorlatendheid is opgesteld. De horizontale doorlatendheid tot ca 20 m-mv varieert tussen de 2 en 5 m/d (fijn tot matig fijn zand). Vanaf 20 m-mv lijkt de horizontale doorlatendheid wat hoger, met uitschieters naar 30-40 m/d (matig grof tot grof zand). De verticale doorlatendheid is over het algemeen een factor 2 tot 4 lager dan de horizontale doorlatendheid: er is sprake van anisotropie. Water stroomt dus gemakkelijker horizontaal dan verticaal.



Figuur 5.1 Geohydrologische doorsnede van zuid (links) naar noord (rechts) door het projectgebied, met informatie over schematische bodemopbouw, doorlatendheid en grondwaterstand. De groene kleuren in de bodemprofielen duiden op laagjes met meer silt of klei.

5.3.2 Watersysteem

In en rondom het projectgebied is een systeem van grotere en kleinere sloten aanwezig, die in combinatie met aanwezig drainage ervoor zorgen dat het gebied voldoende ontwaterd blijft voor landbouwdoeleinden. De primaire watergangen zijn in principe het hele jaar watervoerend. Daarnaast zijn er verschillende secundaire en tertiaire watergangen aanwezig.

Deze sloten voeren in natte perioden het hemelwater af richting de primaire watergangen en zijn in de regel alleen watervoerend in de winter en in perioden na neerslag. Het projectgebied heeft een zomerstreefpeil van -1,5 m+NAP en een winterstreefpeil van -1,7 m+NAP. Dit betekent dat het peil in de winter in principe lager staat dan in de zomer. In perioden van neerslagafvoer zal het slootpeil tijdelijk hoger staan dan het streefpeil. Tijdens het uitvoeren van de reguliere sonderingen (30 juni en 1 juli) zijn in drie sloten metingen verricht van het slootpeil. Het waterpeil varieerde tussen -1,21 en -1,38 m+NAP. Door de streefpeilen te combineren met de hoogtekaart (AHN) is de globale drooglegging (m-mv) van het projectgebied in een winter- en zomersituatie vastgesteld. In de winter is de drooglegging in grote delen groter dan 1,5 m en plaatselijk groter dan 2 m. In de zomer is de drooglegging geringer als gevolg van het hogere zomerstreefpeil. De drooglegging kan niet rechtstreeks worden vertaald naar de ontwateringsdiepte (grondwaterstand) in het cluster. Er is immers geen rekening gehouden met de opbolling van het grondwater in de percelen en de invloed van aanwezige drainage. In werkelijkheid zal de ontwateringsdiepte op grotere afstand van watergangen geringer zijn als gevolg van opbolling, met name tijdens en kort na perioden van neerslag. Tijdens het uitvoeren van de sonderingen is de grondwaterstand gemeten. In een deel van het projectgebied was sprake van een opbolling van de grondwaterstand van enkele decimeters, terwijl elders de ontwateringsdiepte meer overeenkwam met de drooglegging of zelfs iets dieper lag. Bij de ondernemers is nadere informatie ingewonnen over de aanwezige drainage op de percelen in het projectgebied. De meeste percelen in het projectgebied zijn gedraineerd. De drainageafstand varieert tussen 8 en 20 m en ligt naar schatting op 1,2-1,5 m diepte. Een deel van de drainage is erg oud (deels meer dan 30 jaar), waarvan de werking onduidelijk is. De meeste drains voeren vooral af tijdens of na neerslag, hoewel in sommige percelen de drains bijna jaarrond water leveren.

5.3.3 Waterkwaliteit

In de haalbaarheidsstudie is op verschillende locaties in het projectgebied de EGV (geleidbaarheid) van het oppervlaktewater gemeten. De primaire watergangen waren brak tot zout, met EGV-waarden tussen de 5 en 15 mS/cm. Het EGV in secundaire watergangen rond de percelen varieerde globaal tussen de 1 en 5 mS/cm. Er zijn aanwijzingen dat de primaire watergangen na perioden van neerslag minder brak/zout zijn als gevolg van bijmenging van afvoerend hemelwater. In droge perioden lijkt het zoutgehalte in de primaire watergangen in het projectgebied deels te worden beïnvloed door indringend zout oppervlaktewater dan van elders wordt aangevoerd. Tevens zijn drie monsters van oppervlaktewater genomen voor verdere analyse van de waterkwaliteit. Daarbij zijn relatief hoge gehalten ijzer, mangaan en opgelost koolstof en een relatief hoge troebelheid aangetroffen.

Bij de uitvoering van de sonderingen zijn continue metingen gedaan van het EGV van de bodem, op basis waarvan per locatie een diepteprofiel van het EGV is opgesteld. Een scherpe overgang naar hogere EGV-waarden duidt op de overgang naar brak/zout grondwater. De resultaten uit de sonderingen zijn vergeleken met de informatie uit FRESHEM, die reeds in de quickscan is gebruikt. De resultaten uit de sonderingen blijken goed overeen te komen met de gegevens uit FRESHEM en bevestigen het beeld dat in de quickscan is geschetst. In sommige delen van het projectgebied reikt de zoetwaterbel tot circa 20 m diepte. Elders is de diepte geringer, soms maar enkele meters. Dit lijkt deels te worden veroorzaakt door een zoute primaire watergang die het projectgebied doorsnijdt

en jaarrond water voert. Uit twee drains (één perceel) zijn watermonsters genomen voor verdere analyse van de waterkwaliteit. De relatief lage EGV-waarden (1-1,3 mS/cm) en chloridegehalten geven aan dat het drainwater zoet is. De concentraties nitraat, arseen, mangaan en opgelost koolstof waren relatief hoog; concentraties nitraat en arseen waren ook hoger dan de toetsingswaarde in het Infiltratiebesluit bodembescherming (2009). De troebelheid van het water was aanzienlijk lager dan in het nabijgelegen slootwater. Metingen van grondwater uit de diepdrains van enkele jaren terug wijzen daarnaast op een vrij hoog ijzergehalte (circa 2 mg/L). Hoge gehalten aan ijzer zijn een aandachtspunt voor de toepassing van ondergrondse waterberging vanwege het risico op putverstopping door ijzerneslag.

5.3.4 **Watervraag en wateraanbod**

De meeste teelten hebben een relatief kleine aanvullende watervraag, waarbij vooral water nodig is wanneer het droog is tijdens het ontkiemen van de gewassen. Zo berekent één akkerbouwer incidenteel ten tijde van het ontkiemen van gewassen (circa 20 mm in een gemiddeld voorjaar, verdeeld over twee giften). Voor grasland is in droge jaren meer water nodig om opbrengst te blijven genereren, ook midden in de zomer, afhankelijk van de lengte van de droge periode. De veeteler past hiervoor berekening uit diepdrains toe (vergunning tot 16.000 m³/jaar). De ondernemers hebben de indruk dat in de omgeving van het cluster de laatste jaren veel water wordt onttrokken voor beregening.

In een gemiddeld jaar is het neerslagoverschot in de winter 275 mm uitgaande van grasland, waarbij november tot en met januari de belangrijkste maanden zijn (53-62 mm/maand). De belangrijke vraag is of en hoe dit potentiële neerslagoverschot in de winter kan worden opgevangen/vastgehouden en vervolgens opgeslagen in de bodem. De primaire watergangen in het gebied zijn naar verwachting het gehele jaar watervoerend. Dit oppervlaktewater is echter over het algemeen brak tot zout en bevat tevens vrij hoge gehalten aan stoffen bevatten die tot putverstopping kunnen leiden, zoals ijzer en troebelheid, zodat dit in de huidige situatie ongeschikt is voor infiltratie in de diepere ondergrond. De secundaire sloten in het gebied zijn over het algemeen zoet, maar zijn alleen watervoerend na perioden van neerslag, wanneer ze dienen als afvoer van het drainagesysteem. Het water uit de drains lijkt geschikter voor infiltratie, hoewel ook voor dit water enige zuivering nodig is voor het kan worden geïnfiltreerd in de ondergrond vanwege het risico op verstopping door een verhoogd ijzergehalte en vanwege overschrijding van enkele toetsingswaarden uit het Infiltratiebesluit bodembescherming (nitraat en arseen). Voor het infiltreren van water in de ondergrond met oog op terugwinning is namelijk een watervergunning vereist, waarbij de aangetroffen concentraties van nitraat, arseen, mangaan, opgelost koolstof en in mindere mate ijzer een aandachtspunt zijn. Daarnaast is het de vraag welke aanpassingen in het watersysteem en drainagesysteem nodig zijn om het wateroverschot op te vangen en op een later moment weer te onttrekken. De drainage en secundaire watergangen voeren momenteel het overtollige regenwater snel af. Mogelijk kan met peilopzet in de winter de grondwaterstand en daarmee de grondwateraanvulling worden vergroot. Een van de primaire watergangen lijkt een overwegend drainerende functie te hebben waardoor ter plekke de zoetwaterbel vrijwel geheel verdwijnt. Een watertechnologische ingreep bij deze sloot, bijvoorbeeld hydrologisch isoleren met stuwijtjes, heeft naar verwachting een positief invloed op de hoeveelheid zoet water in de ondergrond.

5.4 Doorrekening maatregelen voor zoetwateropslag

Uit het geohydrologisch onderzoek zijn verschillende mogelijke maatregelen benoemd die de hoeveelheid zoet water in de kreekkrug zouden kunnen vergroten. De verwachting is dat niet alle maatregelen even effectief zijn voor het laten aangroeien van de zoetwaterbel. Om dit te onderzoeken zijn een aantal maatregelen, alleen en in combinatie, doorgerekend met een grondwatermodel. Hiertoe is een uitsnede gemaakt van het bestaande grondwatermodel van Zeeland, waarin zoet-zoutprocessen een belangrijke rol innemen. Na uitsnede en verfijning is het deelmodel handmatig gekalibreerd en gevalideerd op basis van gegevens uit het veldwerk en FRESHEM. De verschillende scenario's van maatregelen zijn voor een periode van 30 jaar doorgerekend (2020-2050). Voor de modelberekeningen en het conceptueel ontwerp zijn vooraf drie locaties overwogen. Uiteindelijk is gekozen voor een combinatie van percelen die centraal in het cluster liggen en waar mogelijkheden voor uitbreiding van de zoetwaterbel bestaan. In totaal zijn acht scenario's met maatregelen voor zoetwateropslag doorgerekend:

- 0 - Referentiescenario zonder maatregelen;
- 1 - Hydrologisch isoleren van een primaire watergang;
- 2 - Peilopzet van een secundaire watergang, van -1,7 naar -1,2 m+NAP;
- 3 - Drainage verwijderen uit twee percelen;
- 4 - Peilgestuurde drainage in twee percelen, gecombineerd met een verhoging van het drainagepeil van 0,2 m;
- 5 - Brakwateronttrekking parallel aan een primaire watergang;
- 6 - Peilgestuurde drainage in twee percelen, gecombineerd met actieve infiltratie via drains in de winter ('kreekruginfiltratie');
- 7 - Combinatie van brakwateronttrekking, peilgestuurde drainage en actieve infiltratie.

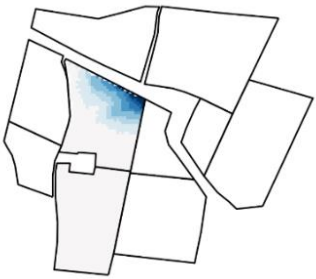
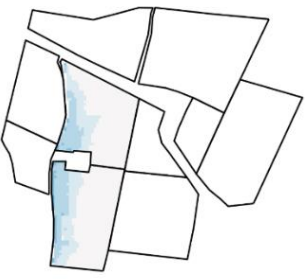
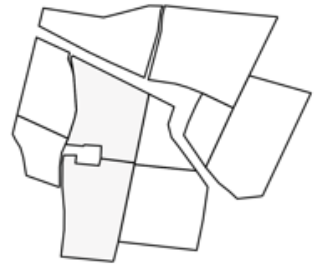
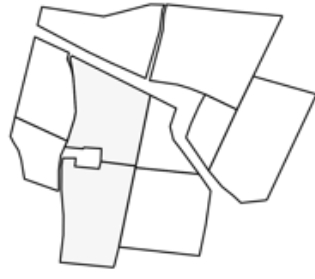
Aanvullend is nog de toepassing van een Freshmaker geanalyseerd (zonder modelberekeningen). Een samenvatting van deze resultaten en een overzicht van de andere aspecten en aandachtspunten zijn opgenomen in Tabel 5.1 en Tabel 5.2. De belangrijkste aspecten worden hieronder beknopt toegelicht.

De combinatie van kreekruginfiltratie (actieve infiltratie van water via aanwezige drainage) in combinatie met peilgestuurde drainage leidt tot de grootste toename van de hoeveelheid zoet water in de ondergrond. Onder het infiltratieperceel (9,5 ha) is de hoeveelheid zoet water na tien jaar met een ordegrootte 60.000 m³ toegenomen en is de dikte van de zoetwaterbel met maximaal 3,5 m gegroeid. Peilgestuurde drainage biedt vooral een belangrijke mate van controle over de grondwaterstand in het perceel. De belangrijkste onzekerheid is de hoeveelheid water die daadwerkelijk beschikbaar is om te kunnen infiltreren. Dit hangt sterk af van de netto hoeveelheid overtollig hemelwater die daadwerkelijk kan worden afgevangen. Daarnaast zal infiltratie in de winter tot een stijging van de grondwaterstand in het perceel en de omgeving leiden. Ook ingrepen in het watersysteem, zoals peilopzet en hydrologische isolatie van een primaire watergang, hebben naar verwachting een relatief groot effect op de zoetwatervoorraad (toename van 12.500-25.000 m³ aan zoet water in één perceel (9,5 ha). Beide maatregelen zijn eenmalig, vergen geen beheer en onderhoud van de agrariërs en zijn deels relatief eenvoudig (peilopzet). Wel is hier medewerking van het waterschap voor nodig. Een aantal andere doorgerekende maatregelen, zoals verwijderen van drainage en brakwateronttrekking, blijken in dit cluster weinig tot geen effect te hebben op de uitbreiding en ontwikkeling van de zoetwaterbel. Tot slot lijkt de bodemopbouw in het cluster niet ideaal voor toepassing van een Freshmaker. Door het ontbreken van een weerstand biedende laag in de ondiepe ondergrond, boven de infiltratiediepte, kan het actief infiltreren leiden tot vernatting of zelfs wateroverlast aan maaiveld.

5.5 Wet- en regelgeving

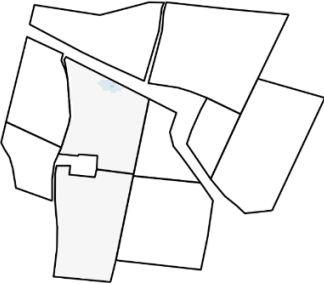
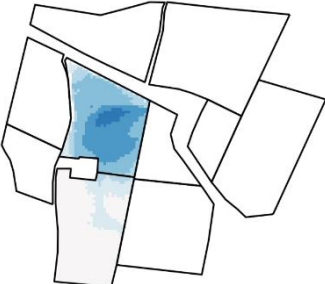
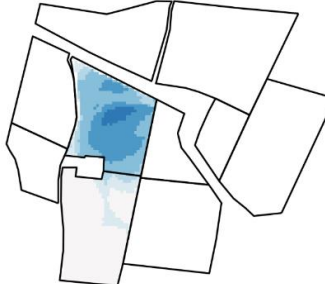
Voor alle maatregelen voor uitbreiding en duurzaam beheer van de zoetwaterbel gelden aandachtspunten ten aanzien van wet- en regelgeving. Zo mag op dit moment alleen zoet water mag worden onttrokken op locaties waar de zoetwaterbel dikker is dan 15 m, hoewel momenteel door het waterschap wordt gekeken na aanpassingen van deze regel waar infiltratie en onttrekking in balans zijn. Voor ingrepen in het watersysteem geldt mogelijk een vergunningplicht en/of dient een watertoets door het waterschap te worden gedaan. Het infiltreren van water via drainage of diepdraains is in de regel vergunningplichtig, waarbij onder andere moet worden aangetoond dat de grondwaterkwaliteit niet verslechtert als gevolg van infiltratie. Een aandachtspunt daarbij zijn in de regel gewasbeschermingsmiddelen.

Tabel 5.1. Overzicht maatregelen zoetwateropslag - deel 1.

	1 - Sloopbodem hydrologisch isoleren	2 - Opzetten peil secundaire watergang	3 - Drainage verwijderen	4 - Peilgestuurde drainage
Korte beschrijving van ingreep en implementatie in model	In het cluster loopt een grote zoute sloot met een mogelijk grote invloed op de zoetwaterbel. In dit scenario wordt de sloopbodem hydrologisch geïsoleerd, zodat de sloot geen effect meer heeft op de grondwaterstand.	In het model is het winterpeil in een secundaire watergang, die alleen bij neerslag water voert, opgezet van -1,7 m tot -1,2 m onder NAP. In de praktijk zou de waterstand in deze sloot verhoogd kunnen worden door het plaatsen van een stuw.	Bestaande drainagebuizen in twee percelen worden verwijderd zodat er minder grondwater afgevoerd wordt en de zoetwaterbel kan groeien.	Een peilgestuurd drainagesysteem wordt aangelegd in twee percelen, gecombineerd met een peilverhoging van 20 cm. De grondwaterstand in de percelen is beter regelbaar en kan daardoor (tijdelijk) toenemen. Hierdoor zou de zoetwaterbel ook aan de onderkant kunnen groeien.
Effect van maatregel op ontwikkeling zoetwaterbel	Het isoleren van de sloopbodem heeft een sterke groei van de zoetwaterbel tot gevolg, vooral direct langs de sloot. Hier groeit de bel meer dan 5 meter. Dit wordt veroorzaakt door een sterke lokale stijging van de grondwaterstand.	Het effect van deze maatregel beperkt zich tot nabij de watergang, waar de zoetwaterbel na 10 jaar tot maximaal 1,5 m aangroeit.	De groei van de zoetwaterbel is volgens de modelberekeningen minder dan een halve meter na 10 jaar. Een verklaring is dat de grondwaterstand doorgaans lager is dan de diepte van de drains. De drains voeren slechts een beperkt deel van het jaar water af, waarschijnlijk voornamelijk tijdens piekbuien. Gedeeltelijk is de drainage in één perceel al buiten werking gesteld bij aanleg diepdrain.	De groei van de zoetwaterbel is volgens de modelberekeningen minder dan een halve meter, zelfs na 10 jaar. Een verklaring is dat de grondwaterstand doorgaans lager is de diepte van de drains. Slechts een beperkt deel van het jaar voeren de drains overtollig water af, waarschijnlijk voornamelijk tijdens piekbuien. De werkelijke grondwaterstand wordt door deze maatregel nauwelijks verhoogd, waardoor de zoetwaterbel ook nauwelijks aangroeit.
Bovenaanzicht zoetwaterbel na 10 jaar				
Ordegrootte groei zoetwaterbel (m³) in eerste jaar in perceel KvdB3 (zonder terugwinning)	3.000 m³	2.000 m³	~0	~0
Ordegrootte groei zoetwaterbel (m³) na 10 jaar (zonder terugwinning)	25.000 m³	12.500 m³	1.000 m³	1.000 m³
Voordelen	Sterke groei zoetwaterbel. Eenmalige ingreep, geen beheer/onderhoud voor agrariër.	Lokale, weinig ingrijpende maatregel.	Eenvoudig te realiseren en goedkope, eenmalige ingreep. Geen beheer/onderhoud nodig na verwijderen.	Peilgestuurde drainage wordt in Nederland inmiddels veelvuldig toegepast. Er is veel ervaring met aanleg.
Nadelen	Deze sloot blijkt een sterk drainerende functie te hebben, weghalen zou derhalve hogere grondwaterstanden tot gevolg hebben.	Lokaal iets hogere grondwaterstanden c.q. vernatting. Maatregel heeft vooral effect langs de sloot	Maatregel heeft nauwelijks effect op de groei van de zoetwaterbel. Minder controle over grondwaterstand in natte periode, met name piekafvoer.	Maatregel heeft nauwelijks effect op de groei van de zoetwaterbel.

	Maatregel vergt medewerking en uitvoering van waterschap.			
Onzekerheden	Nog geen praktijkervaring met het effect van deze maatregel op kreekruigen.	Het is de vraag of een waterstandverhoging met een halve meter, zoals in het model is toegepast, daadwerkelijk valt te realiseren met een stuw. Als het plaatsen van de stuw tot een gemiddeld lagere verhoging van het peil in de sloot leidt dan zal het effect op de zoetwaterbel ook minder zijn.	Het effect van de maatregel is afhankelijk van de doorlatendheid van de kreekgrugsedimenten en de diepte van de drains. Zou de kreekrug minder doorlatend zijn dan nu gemodelleerd, dan zou er een sterkere opbolling van de grondwaterstand in het perceel kunnen ontstaan en daarmee een sterkere groei van de zoetwaterlens.	Het effect van de maatregel is afhankelijk van de doorlatendheid van de kreekgrugsedimenten en de diepte van de drains. Zou de kreekrug minder doorlatend zijn dan nu gemodelleerd, dan zou er een sterkere opbolling van de grondwaterstand in het perceel kunnen ontstaan en daarmee een sterkere groei van de zoetwaterlens.
Wet- en regelgeving, vergunningverlening	Vergt een verandering in waterbeheer van peilgebied door het waterschap, die hiervoor een eigen voorstudie/watertoets zullen willen uitvoeren.	Vergunning, er wordt een watertoets gedaan door een geohydroloog om de invloed van de stuw op het waterpeil/grondwaterstand te berekenen.	Geen vergunning nodig.	Doorgaans makkelijk vergunbaar. Afhankelijk van het type uitstroombouwconstructie in het sloottalud kan er voor deze activiteit een vergunningsplicht gelden.
Aandachtspunten		Buurtpercelen dienen akkoord te zijn en te worden ingelicht over verhoging slootpeil. Een ondernemer moet in eerste instantie contact opnemen met de opzichter waterbeheer in zijn werkgebied. Samen bepalen ze of de gewenste locatie geschikt kan zijn en de stuw daarmee kan worden aangevraagd.		Er kan gebruik worden gemaakt van aanwezige drainage mits die in voldoende staat is om te verbinden met verzamelleiding. Zo niet, dan zal een nieuw samengesteld drainagesysteem moeten worden aangelegd.
Geschatte totale investering (exclusief advieskosten)	Nadere studie nodig. Kosten voor waterschap.	circa €3.000,-	Onbekend, maar waarschijnlijk gering	circa €45.000,-
Onderdelen investering (niet uitputtend)		Aanschaf en plaatsing stuw: 2000-3000 euro (bron: Waterschap Scheldestromen)		- aanleg regelbare drainage: €1250-1500 per ha - overige aanlegkosten (hoofddrain, T-stukken, aanvoerput): €1000 per ha

Tabel 5.2. Overzicht maatregelen zoetwateropslag - deel 2.

	5 - Brakwateronttrekking parallel aan primaire watergang	6 - Peilgestuurde drainage + infiltratie ('Kreekruginfiltratie')	7 - Peilgestuurde drainage + infiltratie + brakwateronttrekking	8 - Freshmaker
Korte beschrijving van ingreep en implementatie in model	Een horizontale put of drain wordt aangelegd parallel aan een primaire watergang die het cluster doorsnijdt. Door met deze put brak grondwater te onttrekken zou lokaal het zoet zout grensvlak naar beneden worden getrokken. In het model is de put op een diepte van 20 meter geplaatst. De lengte van de put is 70 meter en er wordt onttrokken met een constant debiet van 35 m ³ /dag.	Een nieuw peilgestuurd drainagesysteem wordt aangelegd in één perceel, gecombineerd met een peilverhoging van 20 cm. Aanvullend wordt in de winterperiode water geïnfiltrerd (2 mm/d in de periode november-februari) via de drains waardoor de grondwaterstand stijgt en de zoetwaterbel ook aan de onderzijde groeit.	Combinatie van maatregels 5 en 7; peilgestuurde drainage met infiltratie en een brakwateronttrekking.	Twee horizontale putten/drains worden boven elkaar geplaatst. De ondiepe drain wordt gebruikt om 's winters zoetwater te infiltreren wat 's zomers kan worden teruggewonnen. De diepe put wordt gebruikt om jaarrond zout/brak water te onttrekken, waarmee onder de kreekrug ruimte wordt gecreëerd voor de groei van de zoetwaterbel.
Effect van maatregel op ontwikkeling zoetwaterbel	Het effect van deze is volgens de modelberekeningen beperkt. Alleen direct boven de put is na 10 jaar een verdieping van de zoetwaterbel van 0,5 tot 1 m te zien.	De maatregel heeft een groot effect. Na een jaar is er al sprake een aanvulling van 13.000 m ³ ofwel gemiddeld 150 mm over het hele perceel. Na 10 jaar is de zoetwaterbel in het midden van het perceel ruim 3,5 meter gegroeid, en langs de randen minimaal 1,5 meter.		
Bovenaanzicht zoetwaterbel na 10 jaar				Deze maatregel is niet in het model doorgerekend. Om deze maatregel goed door te kunnen rekenen is een kleinschaliger en verfijnder model nodig. Op basis van praktijkervaring kunnen wel schattingen worden gemaakt van de noodzakelijke investeringen en de opslagcapaciteit.
Ordegrootte groei zoetwaterbel (m³) in eerste jaar in perceel KvdB3 (zonder terugwinning)	400 m ³	13.000 m ³	13.000 m ³	4000 - 6000 m ³
Ordegrootte groei zoetwaterbel (m³) na 10 jaar (zonder terugwinning)	2.500 m ³	60.000 m ³	60.000 m ³	niet van toepassing; geïnfiltrerd water wordt jaarlijks ook weer onttrokken
Voordelen	Geen	Sterke groei zoetwaterlens over het hele perceel. In Nederland is inmiddels veel ervaring met aanleg en beheer van peilgestuurde drainagesystemen. Peilgestuurde drainage geeft een mate van controle over het grondwaterpeil in het perceel.		Relatief snelle groei van zoetwaterlens in een seizoen. Door de diepe onttrekking is meer controle mogelijk over de groei van de bel dan bij andere varianten. Mogelijk kan gebruik gemaakt worden van bestaande diepdrains (lijkt geschikt)

Nadelen	Maatregel heeft nauwelijks effect op de groei van de zoetwaterbel. Lozing van brak/zout water zou noodzakelijk zijn.	Kreekrug infiltratie systeem vergt wat beheer en onderhoud. Steeds meer worden drainagesystemen ook ingezet voor het infiltreren van water, maar de praktische ervaring daarmee is nog beperkt. Er bestaat vooral een risico op verstopping van de drains. Verder zal door de infiltratie in de winter de grondwaterstand in het perceel toenemen. Belangrijk nadeel is ook dat er een grote hoeveelheid zoetwater nodig is in de winter om te kunnen infiltreren.		Op basis van de sonderingen lijkt er geen klei aanwezig in de bovengrond. Tijdens de infiltratie kan dit leiden tot stijghoogte-effecten aan maaiveld, en bij te hoge debieten mogelijk zelfs wateroverlast. De infiltratieput is gevoelig voor verstopping en vergt daarom beheer en onderhoud. Het onttrokken brakwater moet worden geloosd.
Onzekerheden	Extra modelanalyses zijn nodig om maatregel te optimaliseren. Door bijv. de diepte of de locatie van de onttrekking te variëren kan mogelijk een groter effect behaald worden. In vergelijking met andere maatregelen wordt echter verwacht dat de groei van de zoetwaterlens beperkt blijft.	In het cluster lijkt infiltratiewater alleen beschikbaar door drainage van andere percelen op te vangen, mogelijk deels in combinatie met toevoer uit een secundaire watergang. Het is vooraf moeilijk in te schatten welk percentage van het neerslagoverschot kan worden afgevangen op verschillende percelen, en dus ook hoeveel investeringen nodig zijn om in de zoetwatervraag voor infiltratie te voorzien.		In het cluster lijkt infiltratiewater alleen beschikbaar door drainage van andere percelen op te vangen, mogelijk deels in combinatie met toevoer uit een secundaire watergang. Voor een Freshmaker is wel minder infiltratiewater nodig dan voor een kreekrug infiltratie systeem. De opslagcapaciteit kan beperkt zijn als wateroverlast naar maaiveld een probleem blijkt te zijn (zie nadelen).
Wet- en regelgeving, vergunningverlening	Het lozen van brak water is vergunningsplichtig (maatwerk). Stelregel: het te lozen water mag niet zouter zijn dan het water in de sloot. Hydrologisch gezien is het water dat je onttrekt en loost echter niet anders dan het water dat van nature opkwelt naar deze sloot.	Normaliter infiltreert water vanaf het maaiveld van nature in het drainagesysteem. Wanneer het drainagesysteem gevuld wordt met oppervlaktewater is dit vergunningsplichtig. Wanneer het drainagesysteem gevuld wordt met grondwater is dit meldingsplichtig.		Het lozen een brakwater is vergunningsplichtig (maatwerk). Stelregel: het te lozen water mag niet zouter zijn dan het water in de sloot. Wanneer het systeem gevuld wordt met oppervlaktewater is dit vergunningsplichtig. Wanneer het systeem gevuld wordt met grondwater is dit meldingsplichtig.
Aandachtspunten	De onttrekkingsput moet aan worden gelegd met een horizontale boring. Er is in Nederland beperkte ervaring met de aanleg van putten middels horizontaal gestuurde boringen.	Er kan gebruik worden gemaakt van aanwezige drainage mits die in voldoende staat is om te verbinden met verzamelleiding. Zo niet, dan zal een nieuw samengesteld drainagesysteem moeten worden aangelegd.		De brakwateronttrekkingsput en mogelijk ook de infiltratieput moeten aan worden gelegd met een horizontale boring. Er is in Nederland beperkte ervaring met de aanleg van putten middels horizontaal gestuurde boringen.
Geschatte totale investering (exclusief advieskosten)	Circa €50.000,-	Circa €85.000,-	Circa €125.000,-	Circa €90.000,-
Onderdelen investering (niet uitputtend)	- horizontale put: €25.000-40.000,- - pompsysteem aan-/afvoer zout water: €5000,- - zonnepanelen: €5000,- - container met pomp en voorzuivering: €8000,-	- aanleg regelbare/KIS drainage: €1250-1500,- per ha - overige aanlegkosten (hoofddrain, T-stukken, aanvoerput): €1000,- per ha - pompsysteem verzamelput naar KIS: €5000,- - zonnepanelen: €5000,-	- horizontale put: €25.000-40.000,- - aanleg regelbare/KIS drainage: €1250-1500,- per ha - overige aanlegkosten (hoofddrain, T-stukken, aanvoerput): €1000,- per ha - pompsysteem verzamelput naar KIS: €5000,- - zonnepanelen: €5000,-	- horizontale put: €25.000-40.000,- - pompsysteem aan-/afvoer zout water: €5000,- - zonnepanelen: €5000,- - container met pomp en voorzuivering: €8000,- - pompsysteem van verzamelput naar diepdrain: €5000,- - aanleg + overige kosten regelbare drainage: €2250-2500 per ha

5.6 Conceptueel ontwerp

Op basis van de modelberekeningen is gekozen voor een combinatie van actieve infiltratie van drainagewater (kreekrug infiltratie systeem of KIS) in combinatie met peilgestuurde drainage en peilverhoging in een aangrenzende secundaire watergang door middel van stuwtjes. Op twee percelen van in totaal 20 ha wordt water geïnfilteerd in de winterperiode via nieuw aan te leggen drainage. Het water wordt verzameld op overige percelen (36 ha) door drainwater af te vangen en richting de infiltratiepercelen te leiden via transportleidingen. Een deel van de opvangpercelen ligt aan de andere kant van een dijk, zodat op twee locaties leidingwerk door de dijk moet worden aangelegd. In het zomerseizoen kan via diepdraains in de infiltratiepercelen water worden onttrokken dat kan worden aangewend voor beregening. Via transportleidingen wordt het water geleid naar tappunten, waar het door de deelnemende agrariërs kan worden onttrokken.

In de winterperiode, van november tot en met februari, bedraagt het neerslagoverschot op de verzamelpercelen maximaal ongeveer 74.000 m³. De verwachting is dat een aanzienlijk deel hiervan niet kan worden opgevangen, bijvoorbeeld als gevolg van verliezen tijdens zeer natte perioden en door grondwateraanvulling op de percelen. Indien ruim 60% kan worden afgevangen, is ongeveer 47.000 m³ beschikbaar voor infiltratie op de infiltratiepercelen, oftewel gemiddeld 2 mm/d in de periode november-februari over ongeveer 20 ha. Een groot deel, maar niet al dit infiltratiewater zal ten goede komen aan de groei van de zoetwaterbel. Daarnaast draagt het opzetten van het peil in de secundaire watergang positief bij aan de hoeveelheid zoet water in de ondergrond. Aanvullende berekeningen met het hydrologisch model laten zien dat de combinatie van deze twee maatregelen (infiltratie en peilopzet) resulteert in een jaarlijkse groei van de zoetwaterbel van ca. 25.000 m³. Dit betekent dat jaarlijks ook maximaal 25.000 m³ kan worden onttrokken en aangewend voor beregening. Een discussiepunt is of de huidige, reeds vergunde onttrekking van maximaal 16.000 m³ per jaar hierbij mag worden opgeteld of niet, oftewel of jaarlijks 25.000 m³ of zelfs 41.000 m³ beregeningswater beschikbaar is.

De investeringskosten voor de aanleg kunnen in deze fase alleen ruw worden ingeschat, maar zullen naar verwachting tussen de € 140.000 en € 200.000 bedragen, met een afschrijvingstermijn van ca. 15 jaar. De definitieve kosten zijn sterk afhankelijk van keuzes die gemaakt worden in het ontwerp, zoals bijvoorbeeld de noodzaak om wel of niet diverse tappunten te realiseren voor teruggewonnen water, mate van automatisering, et cetera. Een aanzienlijk deel van de kosten wordt gemaakt voor het verzamelen van te infiltreren water. Anders dan het bestaande kreekrug infiltratie systeem in Serooskerke (Walcheren) wordt dit systeem niet gevoed met oppervlakte water, maar vanuit (nieuw aan te leggen) samengestelde drainage op de verzamelpercelen en leidingwerk voor transport naar de infiltratiepercelen. Dit brengt kosten met zich mee. Of de investeringskosten en extra wateropbrengst bedrijfseconomisch rendabel zijn, valt in deze fase voor de betrokken ondernemers nog niet te zeggen. De ondernemers hebben verschillende redenen om wateropslag te verkennen, van verkleinen van bedrijfsrisico's (veiligstellen ontkiemen van gewassen) tot vergroten van de productie. Ook wordt voorzichtig gedacht aan andere teelten of andere methoden voor aanwenden van water (druppelirrigatie) als de beschikbaarheid van zoetwater minder onzeker is.

Bij de aanleg van het systeem gelden verschillende aandachtspunten. Peilverhoging in een secundaire watergang door middel van het plaatsen van stuwtejes moet worden voorgelegd aan het waterschap, dat een watertoets zal uitvoeren om de invloed van de maatregel te beoordelen. Daarnaast zal de aanleg van leidingwerk door een dijk/waterkering moeten worden getoetst. Het actief infiltreren van water via drainage of diepdraains is in de regel vergunningplichtig. Voor infiltratie met oog op terugwinning is een watervergunning (bevoegd gezag: waterschap) verplicht als hiervoor oppervlaktewater wordt gebruikt. Hierbij moet onder andere worden aangetoond dat de grondwaterkwaliteit niet verslechtert als gevolg van infiltratie. Waterkwaliteitsnormen voor het te infiltreren water zijn vastgelegd in het Infiltratiebesluit bodembescherming (2009). Bij het infiltreren van grondwater geldt alleen een meldingsplicht.

Tot slot, een gezamenlijke wateropslag is niet alleen een technisch inhoudelijk vraagstuk; het succes hangt ook in sterke mate af van duurzame afspraken die worden gemaakt tussen de ondernemers. Aequator Groen & Ruimte heeft hierover advies uitgebracht (Kannekens et al., 2022), mede op basis van ervaringen bij de Waterhouderij Walcheren. Afspraken zullen moeten worden gemaakt over eigenaarschap, de verdeling van investeringskosten, operationele kosten, onderhoud én de verdeling van het beschikbare water, zowel in volumes als moment in het jaar. Verschillende samenwerkingsvormen zijn mogelijk, zoals een stichting of coöperatie. Bij de keuze voor een samenwerkingsvorm zijn de afspraken over het eigenaarschap en de verdeling van water leidend; een eventuele georganiseerde samenwerkingsvorm volgt daaruit.

6 Conclusies opschaling en aanbevelingen

6.1 Doorkijk en haalbaarheid opschaling op Schouwen-Duiveland

6.1.1 Indicatie kosten en opbrengst

Om een indruk te krijgen van de mogelijkheden bij opschaling van de in het rapport beschreven technieken, is een korte analyse gedaan naar het totale oppervlakte waar technieken mogelijk lijken en wat de orde grootte kosten en opbrengst hierbij is. Deze analyse is een positieve benadering vanuit de mogelijkheden van het hydrologisch systeem, en daarmee niet volledig. Veel aspecten en beperkingen zijn niet of niet volledig meegenomen zoals wetgeving, risico's en beheer en onderhoud. De getallen in deze paragraaf moeten als zodoende geïnterpreteerd worden en geven slechts een eerste positieve indicatie van opschaling op Schouwen-Duiveland.

De orde grootte van het areaal waar technieken mogelijk kunnen worden toegepast is bepaald door de potentiekaarten (Paragraaf 3.2) te combineren met een kaart van de percelen in landbouwkundig gebruik op Schouwen-Duiveland (BRP2021). Op basis hiervan is bepaald hoeveel oppervlakte op landbouwkundige percelen zou kunnen worden gebruikt per techniek (Tabel 6.1). In totaal zijn er op Schouwen-Duiveland circa 3.300 landbouwkundige percelen met een totaal oppervlakte van 13.500 hectare. De potentiekaarten geven vervolgens per techniek wat het maximale areaal is. Met de gecombineerde potentiekaart (Paragraaf 3.2.1) is bepaald wat het areaal is bij een optimale invulling van de mogelijkheden.

Tabel 6.1 Kansrijk areaal op Schouwen-Duiveland op basis van de potentiekaarten (Paragraaf 3.2). Deze kansrijkheid is alleen op basis van geohydrologische geschiktheid. Daadwerkelijk areaal zal kleiner zijn als gevolg van belemmeringen in bijv. regelgeving en waterkwaliteit..

Techniek	Maximaal [ha]	Optimaal [ha]
Peilgestuurde drainage	11.000	4.000
Antiverziltingsdrainage	3.000	3.000
Kreekrug Infiltratie Systeem	1.500	1.500
Freshmaker	3.000	3.000
Ondergrondse waterberging onder een kleilaag	2.500	2.000

Uitgaande van de getallen voor het optimale scenario (Tabel 6.1), gecombineerd met de kosten-baten getallen uit voorgaande hoofdstukken (Tabel 6.2), kan een indicatie worden gegeven van de totale opbrengsten en kosten van opschaling voor heel Schouwen-Duiveland (Tabel 6.3). Hierbij moet worden vermeld dat dit slechts een eerste aanzet is, onderbouwd met slechts een klein aantal kentallen uit eerdere studies. Investeringskosten en rendement zijn afhankelijk van locatie en schaal grootte en dienen middels toekomstige pilots en studies verder te worden onderbouwd. Voor de grootschalige uitrol van drainage technieken op de poelgronden is de kosteninschatting met iets grotere zekerheid te maken, al zijn de kosten-baten van met name beheer en onderhoud en het eventuele risico op (nat)schade onvoldoende bekend (bijv. Van der Gaast, 2019).

Tabel 6.2 Overzicht van kosten en potentiële opbrengst van de verschillende maatregelen. Dit zijn kentallen uit eerdere studies die slechts een indicatie van de orde-grootte weergeven. Getallen bevatten mogelijk niet alle kosten zoals onderhoud en eventuele risico op (nat)schade, en moeten verder worden onderbouwd uit praktijkervaringen.

Techniek	Kosten per hectare [eur/ha]	Kosten per m3 zoet water [eur/m3]	Potentiële opbrengst [m3/ha]
Peilgestuurde drainage	2.400 – 2.600	N.v.t.	300
Antiverziltingsdrainage	2.400 – 3.200	N.v.t.	900
Kreekrug Infiltratie Systeem	2.900 – 5.000 ¹	0.12 – 0.80 ²	1.500
Freshmaker	4.000 – 5.200 ¹	0.50 – 0.74 ²	2.000
Ondergrondse waterberging	N.v.t. ¹	0.30 – 0.70 ²	4.200
Dubbele-/combinatiedrainage	13.000 – 16.000 eur/ha ¹	0.62 – 0.75 ³	1.000 - 1.500

¹Hectareprijzen zijn niet goed te vergelijken voor infiltratie- en verzamelssystemen, omdat met het beschikbare water een groter oppervlakte dan waar het systeem ligt van water zou kunnen worden voorzien.

²Exclusief kosten verzamelen infiltratiewater en kosten toediening water.

³Inclusief wateropslag (bassin) en kosten toediening water.

Voor de laag gelegen poelgronden zijn met name de drainageoplossingen geschikt. Een gebied van in totaal ca. 7.000 hectare is geschikt voor de oplossingen peilgestuurde drainage (4.000 ha) en antiverziltingsdrainage (3.000 ha). De kosten van deze technieken zijn vergelijkbaar, maar doordat bij antiverziltingsdrainage de drainage dieper wordt aangelegd kunnen de kosten iets hoger oplopen. Hierbij moet worden vermeld dat de investeringskosten kunnen worden gedrukt indien wordt aangelegd wanneer bestaande reguliere drainage toe is aan vervanging. Potentieel kan er met deze technieken circa 3,9 Mm³ zoet water in de ondergrond worden geborgen door grondwaterstanden te verhogen. Dit water blijft in de ondiepe ondergrond van het perceel zelf aanwezig en kan niet worden onttrokken.

Tabel 6.3 Ordegrootte van kosten en potentiële opbrengst bij opschaling voor heel Schouwen-Duiveland, op basis van alleen geohydrologische haalbaarheid. Belemmeringen zoals regelgeving zijn niet meegenomen. Getallen op basis van kentallen uit literatuur (zie Paragraaf 3.1) en onvolledig voor wat betreft o.a. onderhoudskosten. Het geschikte areaal voor dubbele drainage is nog niet bepaald.

Techniek	Optimaal [ha]	Kosten [Meur]	Potentiële opbrengst [Mm ³]
Peilgestuurde drainage	4.000	9,6 – 10,4	1,2* ¹
Antiverziltingsdrainage	3.000	7,2 – 9,6	2,7* ¹
Kreekrug Infiltratie Systeem	1.500	4,3 – 7,5	2,2* ²
Freshmaker	3.000	12,0 – 15,6	6,0* ²
Ondergrondse waterberging	2.000	Zeer variabel	8,4* ²

*¹Extra opslag in de ondiepe ondergrond, niet te onttrekken.

*²Bij voldoende beschikbaar infiltratiewater (in het natte seizoen).

De kreekruggen en een deel van de oostelijke polders zijn geschikt voor infiltratietechnieken, hier is ofwel ruimte om grondwaterstanden te verhogen middels ondiepe infiltratie (kreekrug infiltratie systeem) of is in de bodem een geschikte zandlaag beschikbaar (Freshmaker, ondergrondse waterberging). Deze technieken hebben potentie in een gebied van in totaal ca. 6.500 hectare en hebben een potentiële opbrengst van 16,6 Mm³ zoet water. Dit water kan worden onttrokken voor bijvoorbeeld beregening. Bij deze systemen zijn de opbrengst en de kosten sterk afhankelijk van efficiëntie en dimensionering van het systeem: bij een groter systeem kan doorgaans meer geïnfilterd water weer worden teruggewonnen.

Hoewel infiltratietechnieken op een groot deel van het agrarisch gebied van Schouwen-Duiveland toepasbaar zijn vanuit geohydrologisch perspectief, zijn regelgeving en de beschikbaarheid van zoet infiltratiewater een knelpunt. Over het jaar heen gezien valt er voldoende zoet water als neerslag, maar een groot deel wordt in het natte seizoen afgevoerd. Infiltratietechnieken zijn geschikt om door opslag het neerslagwater uit de winter over het jaar heen te bufferen en beschikbaar te maken gedurende het groeiseizoen. Tabel 6.4 geeft een overzicht van verschillende waterbronnen voor infiltratiewater. Kosten voor het beschikbaar maken van dit water voor infiltratie zijn niet meegenomen in Tabel 6.2.

Tabel 6.4 Mogelijke bronnen voor zoet infiltratiewater

Waterbron	
Afvangen dakwater	Het afvangen van hemelwater van daken wordt op veel agrarische bedrijven gedaan. Dit water is van hoge kwaliteit en bevat zo goed als geen zout. Op Schouwen-Duiveland valt jaarlijks circa 850 mm neerslag, wat gelijk bij een dakoppervlak van 1.000 m ² gelijk staat aan 850 m ³ per jaar (voldoende voor een watergift van 20 mm op 4,5 ha in de kiemperiode).
Zoet oppervlaktewater	Een deel van de sloten op Schouwen-Duiveland is (een deel van het jaar) zoet. De beschikbaarheid van zoet oppervlaktewater is echter niet goed bekend. Vanuit monitoringsprojecten als Natuurlijk Zoet kan dit verder in kaart worden gebracht.
Drainagewater (regulier of dubbele drainage)	Zoet drainagewater kan worden afgevangen en geïnfiltreerd. Binnen het project is voor zoute kwelgebieden een aanvullende techniek voorgesteld: dubbele drainage. Uit drainage kan jaarlijks ca. 100-150 mm water van het neerslagoverschot worden afgevangen, wat gelijk staat aan 1.000 tot 1.500 m ³ zoet water per hectare.
Externe aanvoer	Externe wateraanvoer kan worden gebruikt om met een laag debiet gedurende de natte periode zoet water naar Schouwen-Duiveland te brengen, waar dit tijdelijk in de ondergrond kan worden opgeslagen voor gebruik in het groeiseizoen. Een verkenning van de mogelijkheden van externe wateraanvoer is in een separate studie uitgevoerd (Witteveen+Bos, 2021).

6.2 Conclusies

Het doel van het project was om de grootschalige toepassing van innovaties voor het vergroten van de zoetwaterbeschikbaarheid in de ondergrond en daarmee voor gewassen te versnellen door kennis uit eerdere pilots door te ontwikkelen tot uitvoeringsrijpe methoden, standaarden en technieken die grootschalig kunnen worden toegepast op het eiland Schouwen-Duiveland. Het project heeft dit doel willen bereiken door:

1. het ontwikkelen van kennis over technieken die passen bij de specifieke bodem en watercondities van Schouwen-Duiveland door quickscans en haalbaarheidsprojecten;
2. het ontsluiten van kennis;
3. het ontwikkelen van instrumenten om besluitvorming en advisering te verbeteren.

6.2.1 Welke technieken zijn kansrijk voor Schouwen-Duiveland?

In het project zijn verschillende lokale technische oplossingen en maatregelen waarbij de ondergrond wordt ingezet in de zoetwatervoorziening onderzocht. Voor de poelgronden komt dit neer op het versterken en behouden van regenwaterlenzen met drainageoplossingen. Aanvullend kan zoet en zout water zoveel mogelijk worden gescheiden, onder andere via het 'oogsten' van zoet water via dubbele drainage. Aandachtspunt bij drainagetechnieken is het risico op verstopping en natschade. Voor de kreekruigen zijn infiltratietechnieken het meest kansrijk zoals het kreekrug infiltratie systeem. Aandachtspunt is de beschikbaarheid van zoet infiltratiewater en regelgeving. Naast infiltratietechnieken kan op de kreekruigen zoet water zo lang en hoog mogelijk in het systeem worden vastgehouden en waarvoor grondwaterstanden en slootpeilen waar mogelijk moeten worden verhoogd.

6.2.2 Ontsluiten van kennis

In het project is kennis beschikbaar gemaakt, doorontwikkeld en zijn verschillende tools opgezet:

- Methodiek toepassing en opschaling, inclusief ervaringen en lessons-learned;
- Overzicht openbare data voor oriëntatie- en quickscanfase;
- Toolbox oplossingen, zoals de potentiekaarten, de beslisboom en rendementsberekeningen voor toepassen van drainagetechnieken;
- Overzicht aandachtspunten wet- en regelgeving.

Met deze tools kunnen agrarisch ondernemers en adviseurs zelfstandig aan de slag om het gebruik van de ondergrond in de zoetwatervoorziening verder te brengen.

Op basis van de quickscans en haalbaarheidsstudies die gedurende het project zijn uitgevoerd zijn verschillende conclusies te trekken:

1. Er is meer mogelijk dan aanvankelijk door agrarisch ondernemers werd gedacht, met name met drainageoplossingen in de poelgronden. Een groot deel van Schouwen-Duiveland heeft te maken met ongerijpte klei dicht tegen het oppervlak en een hoge kweldruk. Dubbele drainage lijkt in deze gebieden een mogelijkheid om zoetwater te oogsten en op te slaan, maar moet in de praktijk worden getest.
2. Toepassing van technieken blijft maatwerk.
3. Investeringskosten voor de technieken zijn hoog. De rendementsberekeningen voor de drainagetechnieken voor de poelgronden zijn met wat meer zekerheid te geven en geven aan dat de oplossingen ook economisch rendabel lijken te zijn. Voor de infiltratieoplossingen voor de kreekrug is altijd sprake van lokaal maatwerk waardoor de economische haalbaarheid sterk verschilt.
4. Oplossingen op de kreekruigen moeten goed passen binnen het watersysteem. Maatregelen kunnen elkaar hier versterken. Het ligt voor de hand hier te zoeken naar samenwerking tussen ondernemers onderling en met het waterschap.
5. Voor infiltratie is zoet water nodig wat op Schouwen-Duiveland op de meeste locaties een knelpunt is. Naast regelgeving is dit een beperking voor grootschalige uitrol van de gepresenteerde (infiltratie)oplossingen.
6. De meeste winst valt te halen door de zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten in de kiemperiode. Op plekken waar nu geen berekening mogelijk is kan een watergift van 20-25 mm in deze periode het verschil maken.

6.3 Aanbevelingen en hoe vooruit

Door samenwerken in de keten heeft het project geleid tot uitbreiding van- en het beschikbaar maken van kennis over de toepassing van technieken met name op het gebied van het bodem- en watersysteem en kansrijke maatregelen. Hiermee is een stap vooruit gezet in de grootschalige toepassing. Er zijn verschillende aanbevelingen te geven voor een vervolg:

1. Toepassing van innovatieve technieken kan worden versneld door het uitvoeren van pilots. Dit geldt voor het nog niet in de praktijk geteste systeem van combinatie-/dubbele drainage, maar ook voor drainagemaatregelen en maatregelen in de kreekkrug die op slechts enkele locaties in Zeeland zijn beproefd. Agrarisch ondernemers zijn eerder bereid te investeren in een oplossing waarvan de werking al ergens in de praktijk is aangetoond.
2. De uitvoer van oplossingen moet worden ondersteund met een focus op monitoring om kennis en ervaringen vast te leggen. Hierdoor kan in de praktijk worden geleerd.
3. Juridische haalbaarheid lijkt een minder groot knelpunt dan gedacht, er is veel mogelijk onder de huidige wet- en regelgeving. Doordat beleid de praktijk volgt loopt het echter wel achter waardoor nog knelpunten aanwezig zijn.
4. Economische haalbaarheid is nog onvoldoende onderbouwd en behoeft nader onderzoek. Investeringskosten zijn hoog en voor (grootschalige) toepassing moeten de kosten, de baten en de risico's duidelijker worden, ook vanuit ervaring in de praktijk. Er is onvoldoende ervaring met kosten voor langjarig onderhoud en met risico's van eventuele nat- of zoutschade.
5. De drainage en infiltratiemaatregelen moeten in samenhang met maatregelen op het bodem- en watersysteem worden genomen. Kijk bij maatregelen verder dan het perceel alleen.
6. Start niet met de meest complexe oplossingen: start met duurzaam bodembeheer en het watersysteem, dan met laag technologische oplossingen en dan pas hoog-technologische oplossingen en investeringen. Zorgt dat het watersysteem eerst op orde is en probeer niet alles technologisch op te lossen.
7. Zoek naar samenwerking in de keten. Door in het project ondernemers, adviseurs en draineurs samen te brengen is kennis gaan stromen en zijn nieuwe ideeën uitgedacht.

7 Referenties

- Acacia Water, 2019. Spaarwater. Rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik en waterbeheer in de verziltende waddenregio. Hoofdrapport 2016-2018, Acacia Water.
- Delsman, J., te Winkel, T., van Loon, A., Bartholomeus, R., de Wit, J., Massop, H., Reinhard, S., Buijs, S., 2020. Regioscan Zoetwatermaatregelen Fase 2. STOWA rapport 32-A.
- Delsman, J., America, I., Mulder, T., 2022. Grondwaterverziltting en watervraag bij een stijgende zeespiegel; Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II. Deltares Rapp. 11208039-009-BGS-0001.
- Deltafact Regelbare drainage. <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/regelbare-drainage>.
- Gaast, van der, J., 2019. Zuinig met zoet water kan ook leiden tot schade. V-focus juni 2019. pp 36-39.
- Gevaert, A., te Winkel, T., van Meijeren, S., Waterloo, M. J., Noordegraaf, I., de La Loma González, B., Waverijn, J., 2020. DeltaDrip - Efficiënter omgaan met water voor duurzame klimaatbestendige landbouw in Zeeland. Eindrapport. Acacia Water.
- Gevaert, A., Noordegraaf, I., Roelandse, A., Mooij, P., te Winkel, T., 2022. Haalbaarheidsstudie Mogelijkheden voor zoetwateropslag op bedrijfsniveau Den Hartog. Definitief rapport, 11 mei 2022. Acacia Water.
- Infiltratiebesluit bodembescherming, 2009. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0005957/2009-12-22>.
- Jeuken, A., Tolk, L., Stuyt, L., Delsman, J., de Louw, P., van Baaren, E., Paalman, M. (2015) Zelfvoorzienend in zoetwater: zoek de mogelijkheden Kleinschalige oplossingen voor een robuustere regionale zoetwatervoorziening. STOWA rapport 2015-30.
- Kaandorp, V.P., Schoonderwoerd, E., de Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., Roelandse, A., Krajenbrink, H., Raat, K.J., van Veelen, P., 2021. Samenwerken voor zoet water Schouwen-Duiveland – van pilots naar grootschalige toepassing. Deelrapportage 1: Technieken en potentiekaarten. Deltares rapport 11205909-000-BGS-0002.
- Kannekens, J., M. Nikkels, T. van Oorschot, 2022. Adviesrapport samenwerkingsmodel kreekruuginfiltratie Noordgouwe. Aequator Groen & Ruimte, Harderwijk.
- Nikkels, M.J., van Oel, P. R., Meinke H., Hellegers, P. J. G. J. (2019): Challenges in assessing the regional feasibility of local water storage, Water International, DOI: 10.1080/02508060.2019.1656429
- Noordegraaf, I., Roelandse, A., 2022. Kosten-baten tool economische haalbaarheid zoetwateropslag. Schouwen-Duiveland, Zeeland, Nederland.
- Oude Essink, G.H.P., Pauw, P.S., Van Baaren, E.S., Zuurbier, K.G., De Louw, P.G.B., Veraart, J., MacAteer, E., Van Der Schoot, M., Groot, N., Cappon, H., Waterloo, M.J., Hu-a-ng, K., Groen, M.M.A., 2018. GO-FRESH: Valoriatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening; Rendabel en duurzaam watergebruik in een zilte omgeving.

Tolk, L., 2012. Zoetwater verhelderd. Maatregelen voor zoetwater zelfvoorzienendheid in beeld. Kennis voor Klimaat, rapportnummer: KvK 90/2013.

Voort, M. V., 2019. Elektrisch beregenen. Wageningen University & Research.

Witteveen+Bos, Spielmann, P., Dekens, B., 2021. Zoetwateraanvoer Schouwen-Duiveland, Verkenning. Witteveen+Bos rapport 12460/21-002.663.

Zuurbier, K.G., Paalman, M. en Zwinkels, E. (2012) Haalbaarheid Ondergrondse Waterberging Glastuinbouw Westland. KWR 2012.003, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein

Zuurbier, K.G., Raat, K.J., van Doornen, T.C.G.W. (2018). Subsurface Water Solutions (SWS): Compilation of Technological and Economical Guides. SUBSOIL - D1.3D1.5D1.7D2.6.

A Beslisboom Technieken

