

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

Deelrapportage 1: Technieken en potentiekaarten



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

Deelrapportage 1: Technieken en potentiekaarten

*Foto kافت: Plan Tureluur en zicht op agrarische percelen aan de Slikweg en Delingsdijk in Kerkwerve. Edwin Patee
Fotografie, Middelburg.*

Auteur(s)

V.P. Kaandorp (Deltares)
E. Schoonderwoerd (Deltares)
P.G.B. de Louw (Deltares)
G.H.P. Oude Essink (Deltares)
A. Roelandse (Acacia Water)
H. Krajenbrink (KWR Water)
K.J. Raat (KWR Water)

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



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

Samenwerken voor zoet water Schouwen-Duiveland - van pilots naar grootschalige toepassing
Deelrapportage 1: Technieken en potentiekaarten

Opdrachtgever	Gemeente Schouwen Duiveland
Contactpersoon	

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	29-10-2021
Projectnummer	11205909-000
Document ID	11205909-000-BGS-0002
Pagina's	59
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)	
	V.P. Kaandorp (Deltares)
	E. Schoonderwoerd (Deltares)
	P.G.B. de Louw (Deltares)
	G.H.P. Oude Essink (Deltares)
	A. Roelandse (Acacia Water)
	H. Krajenbrink (KWR)
	K.J. Raat (KWR)
	P. Van Veelen (Buro Waterfront)

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	 V.P. Kaandorp (Deltares)	 J.W.J. van der Gaast	 O. de Keizer	

Samenvatting

Het eiland Schouwen-Duiveland is voor zoetwater voor de landbouw geheel afhankelijk van regenwater en het beschikbare zoete grondwater in de duinen, kreekruigen en dunne regenwaterlenzen in de laaggelegen polders. De drie opvolgende droge jaren 2018, 2019 en 2020 hebben laten zien dat de landbouwsector op Schouwen-Duiveland kwetsbaar is voor de toenemende droogte en verzilting. Het project Samenwerken voor Zoetwater (2020 – 2022) heeft als doel om de grootschalige toepassing van innovaties voor het vergroten van de zoetwaterbeschikbaarheid in de ondergrond 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. 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. De huidige rapportage beschrijft deze stappen van het project (technieken en potentiekaarten).

Als eerste onderdeel van het project is een overzicht Toolbox gemaakt van beproefde technische oplossingen die gebruik maken van de ondergrond en potentie hebben op Schouwen-Duiveland. Enerzijds kunnen regenwaterlenzen worden versterkt middels drainageoplossingen als peilgestuurde drainage en antiverziltingsdrainage-Drains2Buffer en het vasthouden van water met stuwen. Hierdoor wordt het risico op droogte- en zoutschade aan gewassen verkleind. Anderzijds kan water in de ondergrond worden geïnfiltreerd en opgeslagen om later te worden opgepompt. Hiervoor zijn de technieken Kreekrug Infiltratie Systeem, ondergrondse waterberging onder een afsluitende kleilaag en Freshmaker te gebruiken.

Voor de technieken zijn de factoren die vereist zijn voor toepassing beschreven in tabellen en verwerkt in potentiekaarten. Deze potentiekaarten geven per techniek aan waar op het eiland de techniek kansrijk wordt geacht, op basis van beschikbare gegevens van de ondergrond en het grondwatersysteem. Zo is op kreekruigen ondiepe infiltratie middels het Kreekrug Infiltratie Systeem de meest kansrijke maatregel. Op de centrale poelgronden zijn met name drainageoplossingen kansrijk. In de polders aan de oostkant van het eiland lijkt ondergrondse waterberging onder een afsluitende kleilaag of de Freshmaker op veel locaties kansrijk.

De tabellen en potentiekaarten beschreven in dit rapport geven informatie aan agrarisch ondernemers, adviseurs en uitvoerders om voor een locatie kansrijke technieken te bepalen. Om dit proces te vergemakkelijken is een besliskader opgesteld waarbij een gebruiker langs de meest belangrijke factoren wordt geleid om te eindigen bij de meest kansrijke een techniek.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Aanpak	8
1.3	Leeswijzer	9
2	Zoetwater en de ondergrond van Schouwen-Duiveland	10
2.1	Ontstaan	10
2.2	Zoet en zout water	10
3	Toolbox overzicht oplossingen en technieken	13
3.1	Behoud van regenwaterlenzen	14
3.1.1	Peilgestuurde drainage	14
3.1.2	Anti-verziltingsdrainage – Drains2Buffer	17
3.1.3	Waterconservering door stuwen	19
3.2	Vergroten of creëren van zoetwaterlenzen t.b.v. onttrekkingen	21
3.2.1	Kreekrug Infiltratie Systeem (KIS)	21
3.2.2	Ondergrondse waterberging onder afsluitende kleilaag	23
3.2.3	Freshmaker	25
3.3	Samenvatting oplossingen en technieken	27
4	Potentiekaarten	28
4.1	Inleiding	28
4.2	Peilgestuurde drainage	29
4.2.1	Overzicht factoren	29
4.2.2	Combineren factoren	30
4.2.3	Kaarten factoren	30
4.2.4	Potentiekaart peilgestuurde drainage	32
4.3	Antiverziltingsdrainage - Drains2Buffer	33
4.3.1	Overzicht factoren	33
4.3.2	Combineren factoren	34
4.3.3	Kaarten factoren	34
4.3.4	Potentiekaart antiverziltingsdrainage - Drains2Buffer	37
4.4	Kreekrug Infiltratie Systeem (KIS)	38
4.4.1	Overzicht factoren	38
4.4.2	Combineren factoren	39
4.4.3	Kaarten factoren	39
4.4.4	Potentiekaart Kreekrug Infiltratie Systeem	43
4.5	Ondergrondse waterberging onder afsluitende kleilaag	44
4.5.1	Overzicht factoren	44

4.5.2	Combineren factoren	45
4.5.3	Kaarten factoren	45
4.5.4	Potentiekaart Ondergrondse waterberging onder afsluitende kleilaag	47
4.6	Freshmaker	48
4.6.1	Overzicht factoren	48
4.6.2	Combineren factoren	49
4.6.3	Kaarten factoren	49
4.6.4	Potentiekaart Freshmaker	51
4.7	Potentiekaart gecombineerd	52
5	Beslisboom technieken	53
6	Conclusies	55
7	Referenties	56

1 Inleiding

In het project Samenwerken voor Zoetwater (2020 – 2022) wordt 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 deelrapport beschrijft de eerste fase van het project, waarin verschillende technische oplossingen zijn verzameld en potentiekaarten zijn gemaakt. Een tweede deelrapportage wordt aan het einde van het project opgesteld en beschrijft een opschalingsmethodiek en ervaringen hiermee in het project.

1.1 Aanleiding

De landbouw op Schouwen-Duiveland staat onder druk door klimaatverandering. Het eiland Schouwen-Duiveland is voor zoetwater voor de landbouw geheel afhankelijk van regenwater en het beschikbare zoete grondwater in de duinen, kreekkruggen 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 verzilting van het ondiepe grondwater en oppervlaktewater en watertekorten voor de landbouw in droge perioden. Door toenemende droogtes in het groeiseizoen en de lange termijn effecten van doorgaande bodemdaling in combinatie met zeespiegelstijging zal het probleem van verzilting en verdroging verder toenemen. De drie opeenvolgende droge jaren 2018, 2019 en 2020 hebben laten zien dat de landbouwsector op Schouwen-Duiveland kwetsbaar is voor de toenemende droogte en verzilting.

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 klimaat adaptief (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 moeten oppakken. 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.

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 positieve effecten hebben op de waterbeschikbaarheid.

Veel agrarisch ondernemers op het eiland hebben aangegeven te willen investeren in maatregelen om zoetwater vast te houden. Hoewel de oplossingen voor het vergroten van zoetwater 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. 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.

Om deze patstelling te doorbreken is het nodig om kennis van pilots te vertalen naar technieken die passen bij de specifieke bodem-, (grond)water- en landbouwcondities van Schouwen-Duiveland, en de agrarische sector op het eiland hierin mee te nemen. Door onder verschillende bodem en watercondities en bij verschillende bedrijfsvoeringen en teelten, kennis te ontwikkelen over het specifieke ontwerp, de verwachte effecten op het grond- en oppervlaktewater en het rendement en de economische haalbaarheid van de investering. Daarnaast is het nodig om meer duidelijkheid te krijgen over beheer- en organisatieaspecten, zoals bijvoorbeeld afspraken over het maximale duurzame onttrekkingsregime, de verdeling van zoetwater tussen partners, de financiering, beheer en onderhoud van gemeenschappelijke voorzieningen en de kostendeling van investeringen in het watersysteem. Als laatste is het nodig dat de kennis die wordt opgedaan in deze studies wordt vertaald naar methoden, standaarden, richtlijnen en protocollen voor advies, aanleg en operationeel beheer waarmee agrarische adviseurs en draineurs zelfstandig "de boer op kunnen" en de kosten en risico's worden verlaagd.

Het doel van dit project is om de grootschalige toepassing van innovaties voor het vergroten van de zoetwaterbeschikbaarheid in de ondergrond 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.

1.2 Aanpak

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. De huidige rapportage beschrijft deze stappen van het project (technieken en potentiekaarten).

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 worden voor de meest kansrijke cases haalbaarheidsstudies uitgevoerd. Deze haalbaarheidsstudies bestaan uit een gedetailleerde analyse van de bodem en (grond-)water situatie, de watervraag- en aanbod, een waterkwaliteitsanalyse en uiteindelijk een kosten-baten analyse en businesscase op basis van een voorlopig ontwerp. Daarnaast zullen de ervaringen uit de quick-scans en haalbaarheidsstudies worden vertaald naar standaarden en richtlijnen voor grootschalige toepassing van de oplossingen. Deelrapportage 2 zal deze onderdelen van het project beschrijven (methodiek opschaling, quickscans en haalbaarheidsstudies).

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt de ondergrond en de zoetwatervoorziening op Schouwen-Duiveland beschreven. In Hoofdstuk 3 wordt een 'Toolbox' met verschillende beproefde technieken beschreven die potentie voor toepassing op Schouwen-Duiveland hebben. De toepasbaarheid van een aantal van deze technieken wordt middels Potentiekaarten gegeven in Hoofdstuk 4. In Hoofdstuk 5 wordt een besliskader voor de verschillende technieken beschreven, Hoofdstuk 6 geeft tussentijdse conclusies van het project.

2 Zoetwater 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, naast het feit dat er geen aanvoer van zoet water van elders mogelijk is. Hierdoor is de zoetwatervoorziening voor de landbouw op het eiland een grote uitdaging. Klimaatverandering en zeespiegelstijging zorgen voor extra druk op dit systeem en de verwachting is dat zoet water in de toekomst alleen maar schaarser zal worden.

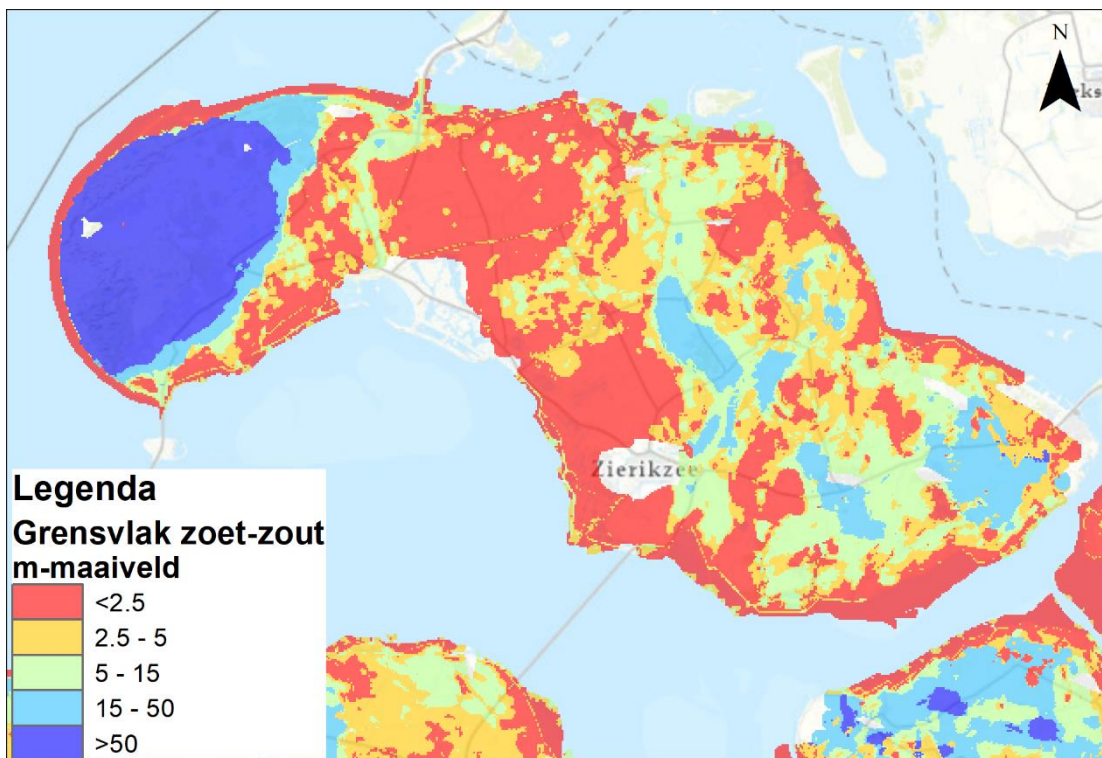
2.1 Ontstaan

Schouwen-Duiveland wordt omringd door het brakke en zoute water van de Noordzee, de Oosterschelde en de Grevelingen. Het eiland is gevormd door overstromingen en inpolderingen. Rond het jaar 0 bestond Zeeland uit een vrijwel ononderbroken veenlandschap. In de eeuwen daarna hebben overstromingen een groot deel van het veen weggeslagen en werden eilanden gevormd. Door de invloed van de zee werd het ondiepe grondwater vervolgens zout. In de periode 1000 – 1200 na Christus werden aan de kust de jonge duinen gevormd en begonnen bewoners met het omdijken van droge gebieden en vanaf de 13^e eeuw werden ook gebieden van de zee teruggewonnen en ingepolderd. Deze gebieden liggen nu wat hoger dan de vroegst bedijkte gebieden, doordat langere tijd sedimentatie heeft kunnen plaatsvinden. De kreken vormden vroeger de laagste delen van het landschap. Doordat dijken werden aangelegd en gebieden werden ontwaterd door het graven van sloten en greppels zijn veenlagen ingeklonken en kleibodems gerijpt. Hierdoor is het maaiveld gedaald. Doordat de dichtgeslibde kreken zandiger zijn heeft hier minder bodemdaling plaatsgevonden waardoor deze nu hoger in het landschap liggen: het landschap heeft zich in wezen ‘omgekeerd’ waardoor we nu spreken van kreekruigen. De lager gelegen gebieden noemen we poelgronden. Het eiland bestaat dus voor een groot deel uit polders, het grootste deel van het maaiveld op het eiland bevindt zich op een hoogte van ongeveer NAP. Op enkele plekken steken de kreekruigen enkele meters boven de polders uit. De duinen aan de westzijde van het eiland hebben een hoogte tot ongeveer 35 m boven NAP.

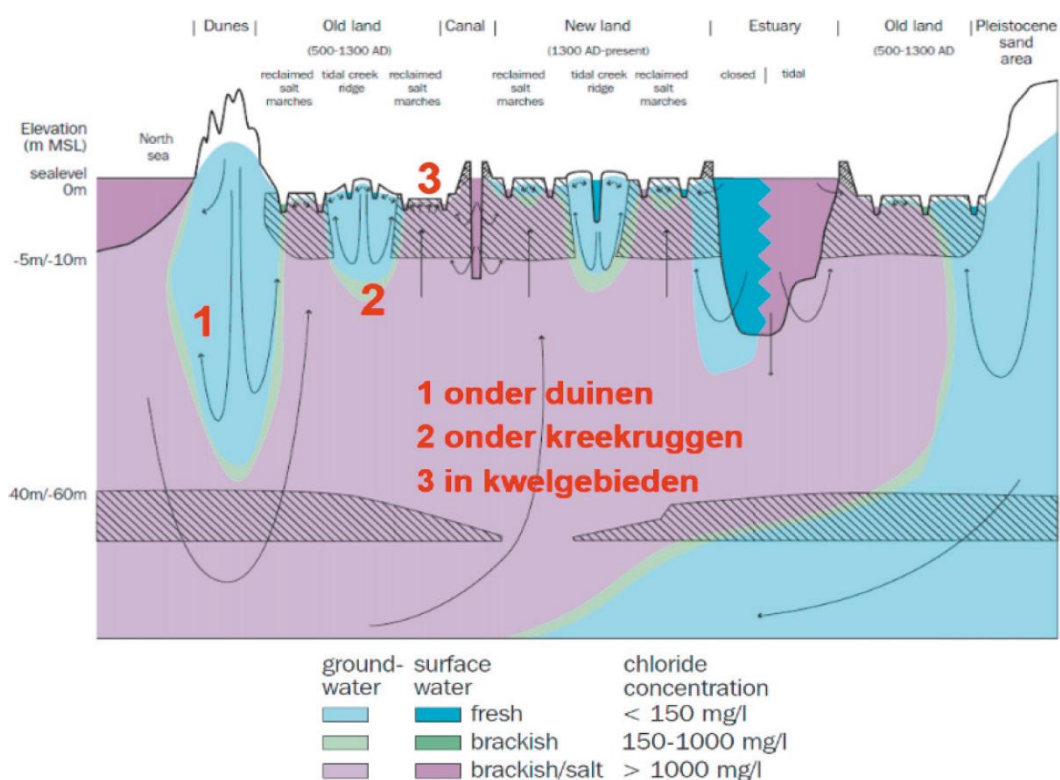
2.2 Zoet en zout water

Over het algemeen geldt dat zoet water een chloride-concentratie heeft kleiner 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 grofweg 4 mS/cm.

Op de zandige kreekruigen 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 2.1). Deze zoetwaterlenzen ontstaan door het verschil in dichtheid tussen zoet en zout water. Doordat zout water zwaarder is, drijft het zoete water als het ware op het diepere zoute grondwater, analoog aan het drijven van ijs in water. Zoetwaterlenzen vormen langzaam: bij een neerslagoverschot van 0.8 mm/dag en een porositeit van 30% duurt het iets meer dan 10 jaar om een 10 meter dikke zoetwaterlens te vormen.

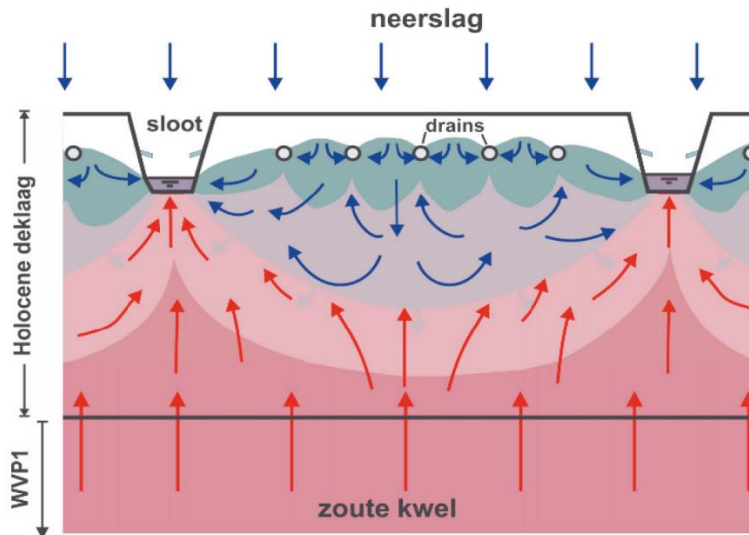


Figuur 2.1 Zoet-zoutverdeling in de bodem van Schouwen-Duiveland: de diepte van het 1500 mg Cl/l grensvlak varieert van > 50 meter onder de duinen (blauw) tot < 2,5 meter in de polders (rood). Bron: FRESHEM Zeeland (Van Baaren et al., 2018).



Figuur 2.2 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 kreekruigen (2). In de zoute kwelgebieden worden zeer dunne (< 2 m) regenwaterlenzen aangetroffen (3). Uit: de Louw, 2013.

De polders hebben over het algemeen kleiige bodems en door de lage ligging komt in de poelgronden kwel voor. Deze omhoog gerichte stroming van zout grondwater 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 2.3 Schematische weergave van een regenwaterlens zoals ze voorkomen in de zoute kwelgebieden. Uit: de Louw, 2013.

Uit gesprekken met boeren is gebleken dat ze weliswaar een goed beeld hebben van de bodemgesteldheid van de bovenste 50 cm van de ondergrond, maar nauwelijks een beeld van de diepere ondergrond en welke mogelijkheden dit biedt voor zoetwateropslag. Door te sturen in drainage, infiltratie en onttrekkingen kunnen regen- en zoetwaterlenzen worden vergroot.

3 Toolbox overzicht oplossingen en technieken

De ondergrond kan op twee manieren worden ingezet voor de zoetwatervoorziening. Enerzijds kan worden ingezet op het behoud van regenwaterlenzen en tegengaan van verzilting, waardoor het bodemvocht in de ondiepe ondergrond (langer) zoet blijft in droge perioden en minder beregening nodig is. Anderzijds kan water ondergronds worden geborgen om zoetwaterlenzen te versterken of te vergroten waaruit vervolgens zoet water kan worden onttrokken. In de loop der jaren zijn verschillende maatregelen en technieken getest die steeds meer in de praktijk worden toegepast. Dit hoofdstuk geeft dit overzicht van technieken die voor Schouwen-Duiveland kansrijk worden geacht. Per techniek wordt een beknopte samenvatting van de toepasbaarheid, ervaringen en economische aspecten gegeven. De oplossingen die worden behandeld zijn:

1. Behoud van regenwaterlenzen / tegengaan verzilting:

- Peilgestuurde drainage
- Anti-verziltingsdrainage - Drains2Buffer
- Waterconservering door stuwen

2. Vergroten of creëren van zoetwaterlenzen t.b.v. onttrekkingen:

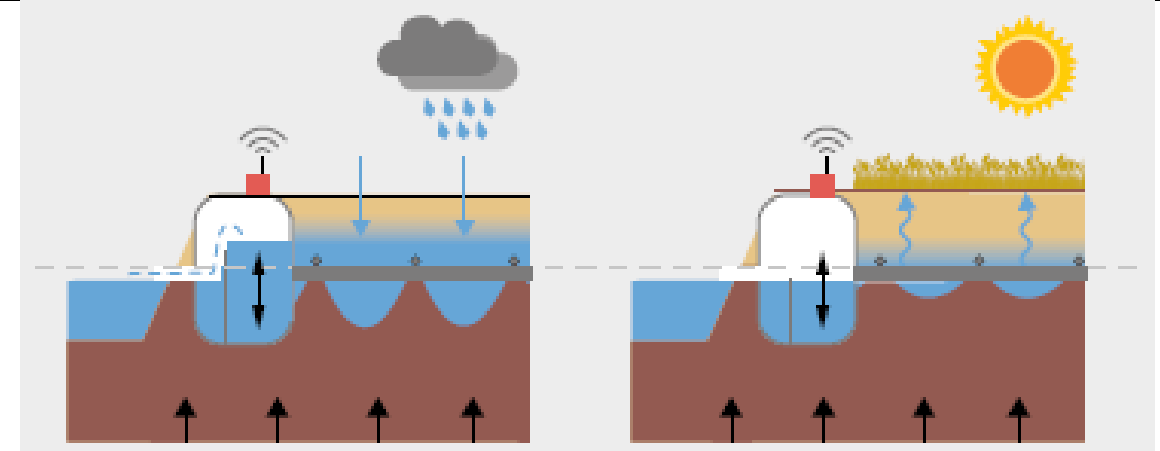
- Kreekrug Infiltratie Systeem
- Freshmaker
- Ondergrondse waterberging onder afsluitende kleilaag

Uiteraard kan bij toepassing ook gezocht worden naar combinaties van bovenstaande oplossingen. Een systeem met peilgestuurde drainage kan bijvoorbeeld worden gecombineerd met waterconservering door stuwen. Een ander voorbeeld is dat het water uit een peilgestuurd drainage systeem kan worden afgevangen om te worden gebruikt in een ondergronds waterbergingssysteem.

De technieken die worden behandeld maken gebruik van de ondergrond voor het vasthouden of opslaan van zoet water. Er bestaat tevens een breed scala aan andere technieken rondom waterbeschikbaarheid en -besparing die hier niet worden behandeld. Dit zijn bijvoorbeeld het ontzilten van brak water, opvang van regenwater, hergebruik van effluent/afvalwater/restwater, sub- en druppelirrigatie, en zout-resistente gewassen.

3.1 Behoud van regenwaterlenzen

3.1.1 Peilgestuurde drainage

Peilgestuurde Drainage	
	
<i>Bron: Spaarwater</i>	
Werking	Drainagesysteem waarbij het instelniveau variabel is waardoor water langer in de ondergrond kan worden vastgehouden.
Doel	Langer vasthouden zoet water (regenwaterlenzen)
Toepasbaar bij	Perceel met drainagebehoefte, met name in kwelsituatie
Kosten / baten	<p>Levensduur: 15-20 jaar.</p> <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)
Ervaringen	<ul style="list-style-type: none"> • Colijnsplaat (Zeeland), 2010-2012: hogere grondwaterstanden en minder afvoer naar oppervlakte water van stikstof en chloride. Er was geen duidelijke invloed op de gewasgroei en oogstbrendst (Schipper et al., 2015). • Herbaijum, Friesland (project Spaarwater). (2013 – 2018): Zoetwaterlensdikte neemt toe ten opzichte van referentie, nutriëntenvracht in het afvoerwater is verlaagd. Hogere opbrengsten (+10%) van pootaardappelen (Burger et al., 2019). • Borgsweer, Groningen (project Spaarwater). (2013-2018): onderling koppelen van drainagebuizen t.b.v. opvang zoet water. Het drainagepeil is hier niet opgezet, wel is water via de drains verzameld (Oord et al., 2019). Drainagebuizen bleken te verstopen door stagnatie van water in de verzamelleiding waardoor natschade kon ontstaan (van der Gaast, 2019). • Opnieuw proef bij Proefboerderij Rusthoeve te Colijnsplaat, gestart in 2020 en loopt nog: regelbare drainage met subirrigatie. Eerste resultaten laten een verhoogde grondwaterstand zien, met een positief effect op het bodemvochtgehalte en ook een verhoogde droge stof (gewas) opbrengst ten opzichte van het referentie perceel. • Op de zandgronden in zuid- en oost-Nederland is inmiddels ruime ervaring met regelbare drainage. Ervaringen uit vier langjarige, uitvoerig bemeten veldlocaties zijn onlangs gebundeld door De Wit et al. (2021)

Beschrijving techniek

Peilgestuurde drainage of (samengestelde) regelbare drainage is een drainagesysteem waarbij de grondwaterstand aangepast kan worden door het veranderen van het uitstroomniveau van het systeem, ook tot boven de uitstroomopeningen van de drains. Hierdoor kan water langer vastgehouden worden in de ondergrond van het perceel. Een ingestelde hoogte die gelijkstaat aan het maaiveld betekent een uitschakeling van het drainagesysteem; ingestelde hoogte onder de uitstroomopeningen van de drainagebuizen is een traditioneel werkend drainagesysteem.

Een stuw in een slootje of een stelpijp in een regelput wordt ingesteld op een bepaalde hoogte, waarbij alleen gedraineerd wordt als de grondwaterstand boven deze hoogte uitkomt. Drainagebuizen kunnen bij peilgestuurde drainage dieper liggen in vergelijking met traditionele drainage (Future Water, 2013). Het maximale regelbereik in de put of stuw is ongeveer 50 cm, de verhoging van de grondwaterstand is waarschijnlijk lager en wordt geschat op ongeveer 30 cm (aan het begin van het groeiseizoen) maar is afhankelijk van de situatie (van Bakel et al., 2014).

Bij peilgestuurde drainage kan flexibeler worden omgegaan met het drainagepeil, afhankelijk van de weerssituatie en activiteiten op het perceel kan het peil namelijk worden verhoogd of verlaagd. De reactie(tijd) van de grondwaterstand is afhankelijk van de doorlatendheid van de bodem en hierdoor kan het bijvoorbeeld enige tijd duren voordat de grondwaterstand op het gewenste niveau komt. KlimaatAdaptieve Drainage (KAD) is een toepassing van peilgestuurde drainage waarbij snel en traploos de drainagehoogte op afstand geregeld kan worden (van Bakel et al., 2014).

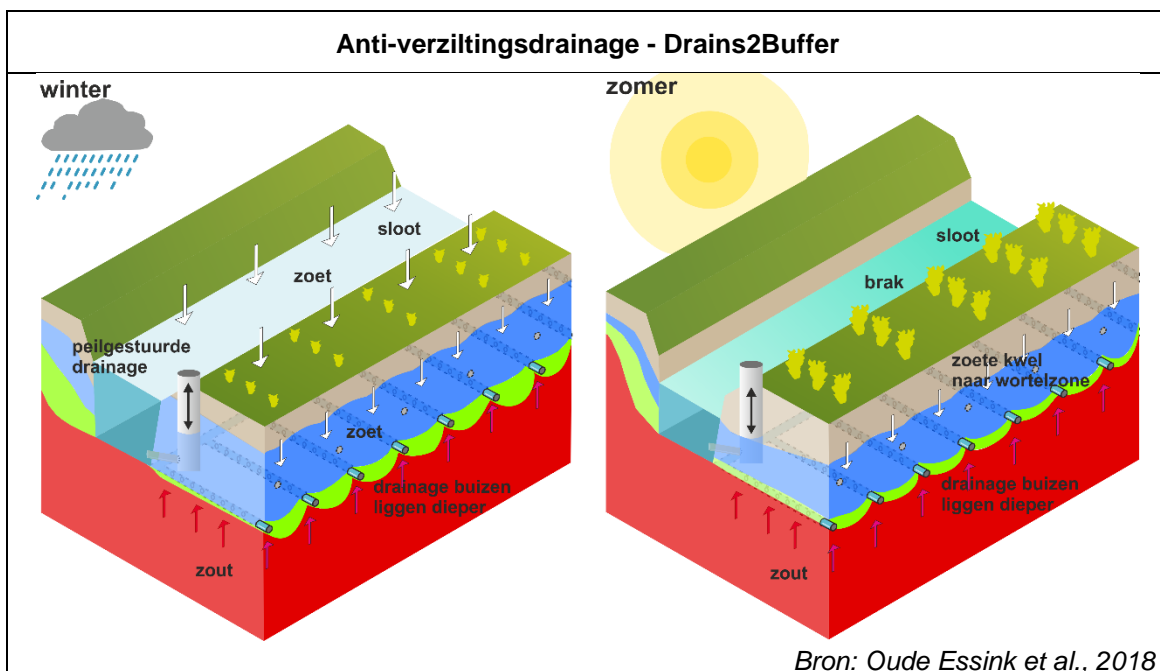
Over het algemeen kan door de stuurmogelijkheden bij peilgestuurde drainage de grondwaterstand langer hoog blijven. Middels hogere grondwaterstanden wordt het water hierdoor langer in de ondergrond van het perceel vastgehouden. In de kustgebieden zorgt dit ervoor dat zoet regenwater langer wordt vastgehouden en regenwaterlenzen beter in stand worden gehouden. Belangrijk punt is wel dat het bovenste (zoete) grondwater wordt gedraineerd zodra het drainagepeil omlaag wordt gezet, bijvoorbeeld aan het begin van het jaar wanneer toegang tot het perceel met landbouwvoertuigen nodig is. Door na werkzaamheden het peil weer omhoog te zetten kan water weer worden vastgehouden, maar daarvoor is ook neerslag nodig. Een nadeel van een hogere grondwaterstand bij peilgestuurde drainage is dat het risico op natschade groter is (drainagepeil). Daarnaast kan door het koppelen van drainagebuizen het risico op verstopping toenemen, en wordt onderhoud bemoeilijkt (Van der Gaast, 2019).

Peilgestuurde drainage kan worden gebruikt voor sub-infiltratie als alternatief voor beregening. Hierbij wordt water via het drainagesysteem geïnfiltrerd om de grondwaterstand te verhogen of op peil te houden. Bij sub-irrigatie wordt via het drainagesysteem effectiever geïrrigeerd, doordat er geen water verloren gaat aan verwaaiing, interceptie, bodemverdamping en afstroming. De werking van sub-irrigatie is in hoge mate afhankelijk van de bodemkundige situatie. Er bestaan enkele ervaringen met dit concept, zoals in Schoondijke (Zeeuws-Vlaanderen; Stuyt, 2013), Breezand (Noord-Holland; Hulshof et al., 2019) en Goeree-Overflakkee. Op Goeree-Overflakkee is hiermee gestart in 2019 als primaire vochtvoorziening op percelen met aardappelen, bloembollen en uien. Inmiddels is het systeem daar succesvol uitgerold over ca 250ha met verplaatsbare toerengeregelde pompsystemen op zonne-energie zonder accu's. De beschikbare pompcapaciteit is hierbij ongeveer 5mm/dag/ha. In Kruiningen, bij biodynamisch akkerbouwbedrijf Meulwaeter, is sinds 2020 een regelbaar drainagesysteem operationeel op ca. 25 hectaren. Het drainagewater van deze percelen wordt gevoed aan een ondergronds waterbergingssysteem, als opslag voor later gebruik (zie ook 3.2.2).

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

3.1.2 Anti-verziltingsdrainage – Drains2Buffer



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
Kosten / baten	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten schatting 1 (Spaarwater, 2018): 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.
Ervaringen	<ul style="list-style-type: none"> • Kerkwerve (Zeeland): 2013-2016. Traditionele drains op 70-80 cm, antiverziltingsdrainage (in ongerijpte klei) op 110-120 cm. Het effect van antiverziltingsdrainage kon niet met zekerheid vastgesteld worden, omdat er ook verzoeting optrad die niet veroorzaakt werd door de antiverziltingsdrainage (GO-FRESH: Oude Essink et al., 2018). • Hornhuizen (Groningen): 2015 – 2017. antiverziltingsdrainage op zandgrond met hoger drainagepeil dan de traditionele drainage. Er is een toename van de zoetwatorvoorraad vastgesteld, nitraat en anorganische stikstof in het drainwater zijn verminderd (Spaarwater: Burger et al., 2019).

Beschrijving techniek

Antiverziltingsdrainage wordt toegepast bij dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden (Van Bakel et al., 2014), zoals in Zeeland. De zoute kwel die in deze gebieden voorkomt, verhindert de infiltratie van regenwater.

Bij antiverziltingsdrainage liggen de (regelbare) drains dieper dan bij conventionele drainage en ook is de drainageafstand kleiner (Oude Essink et al., 2018). De drains worden ingezet om zout water af te voeren tijdens natte periodes. Hiermee kan de regenwaterlens worden vergroot en het bovenste grondwatersysteem verzoeten. Het oorspronkelijke drainagepeil en daardoor het grondwaterpeil blijft gehandhaafd (Oude Essink et al., 2018). Dit wijkt dus af van peilgestuurde drainage; daar wordt de grondwaterstand verhoogd ten tijde van neerslagoverschot (Van Bakel et al.). De verdieping van de regenwaterlens door antiverziltingsdrainage staat ongeveer gelijk aan het aantal cm verdieping van drainagebuizen (De Louw et al., 2015). Bij een erg sterke kwelflux zal antiverziltingsdrainage minder optimaal werken.

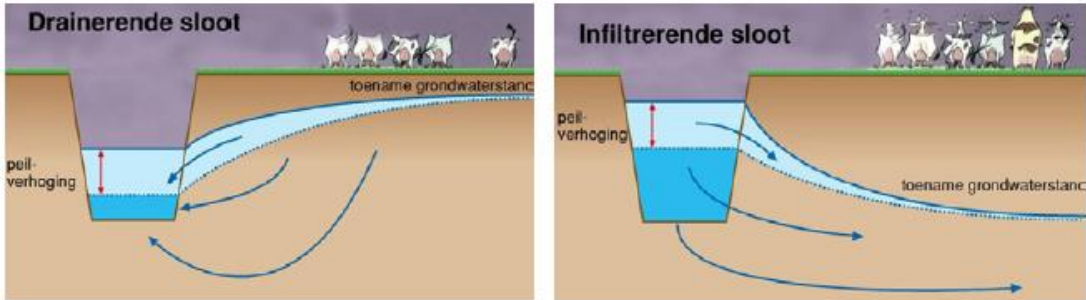
De werking van traditionele drains, die eventueel in hetzelfde gebied aanwezig zijn, dient gereduceerd te worden. Dit betekent dat het drainagepeil daarvan verhoogd moet worden. Om het effect van antiverziltingsdrainage te versterken en versnellen, kunnen de diepe antiverziltingsdrains onderbemalen worden (Oude Essink et al., 2018).

Antiverziltingsdrainage zorgt voor afname in uitstroom van nutriënten naar oppervlaktewater (Deltafact Anti-verziltingsdrainage, 2019; Spaarwater, 2018). Direct na aanleg van antiverziltingsdrainage zal de zoutlast van het geloosde water op het oppervlakte water hoger zijn, maar wanneer de regenwaterlens in evenwicht is met de nieuwe drainagesituatie zal het afvoerwater weer ongeveer dezelfde zoutlast hebben (Van Bakel et al., 2014).

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

3.1.3 Waterconservering door stuwen

Waterconservering door stuwen	
	
<i>Bron: Jeuken et al. (2015)</i>	
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
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
Ervaringen	<ul style="list-style-type: none"> • Veel ervaring ten behoeve van waterkwantiteit, maar weinig in combinatie met vasthouden zoet water in verzilte omgeving. • Waterconserveringsstuwen Noord-Beveland, gestart in 2019. Monitoring effect peilverhoging perceelsloot op grondwater en zoet-zout. • Zoete Stuw Texel, pilot gestart in 2019. Deze 'zoete stuwen' voeren voornamelijk water uit de onderste (zoutere) waterlaag af.

Beschrijving techniek

In natte periodes wordt water vastgehouden achter kleine stuwen in de kleinste stroompjes en slootjes van het oppervlaktewatersysteem. Hierdoor stijgt het waterpeil en het grondwaterniveau, waardoor het zoete (regen)water langer vastgehouden wordt in de ondergrond. Deze techniek is het meest kansrijk in erg vlakke gebieden, omdat een verhoging in het oppervlaktewaterpeil dan leidt tot een grondwaterstandsverhoging in een groot gebied. Daarnaast werken de stuwen beter wanneer deze in gebieden met veel sloten geplaatst worden zodat de afstand tussen sloten relatief klein is. In zeer kansrijke gebieden kan de GVG (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand) met 20 cm verhoogd worden; hiervoor is een ontwateringsbasis van 40 cm in de sloten nodig (Van Bakel et al., 2014). Een negatief effect kan zijn dat de afvoer door de stuwen gereduceerd wordt en dat de kwaliteit van het oppervlaktewater verslechtert door stilstaand water achter de stuw (Van Bakel et al., 2014). Daarnaast leidt een hoger slootpeil tot een groter risico op natschade.

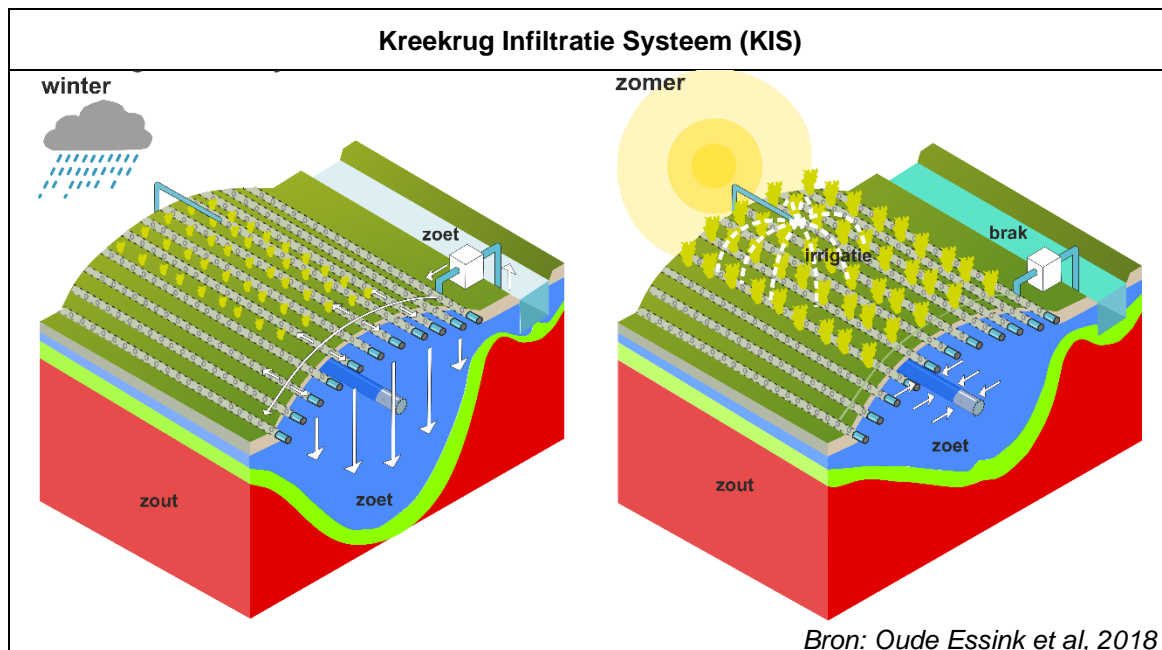
Een variant op de traditionele stuw is de zoete stuw. Deze houdt zoet water vast door het afvoeren van zoutwater via een sifonconstructie. De stuw is, in tegenstelling tot een traditionele stuw, ontworpen om het zoute water af te voeren en het zoete water vast te houden. Momenteel zijn er nog geen locaties waar gemeten is aan een dergelijke stuw. Op Texel is een project gestart om hier verder ervaring mee op te doen (Zoete Stuw Texel, 2019-2023).

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.

3.2 Vergroten of creëren van zoetwaterlenzen t.b.v. onttrekkingen

3.2.1 Kreekrug Infiltratie Systeem (KIS)



Bron: Oude Essink et al, 2018

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)
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)
Ervaringen	<ul style="list-style-type: none"> Serooskerke, Zeeland. Ongeveer 30.000 m³ zoet water per jaar wordt geïnfilteerd. Modelresultaten laten zien dat 16000 m³ zoet water jaarlijks onttrokken kan worden. 50 cm peilverhoging leidt tot 2 m zoetwaterlens verdikking (GO-FRESH: Oude Essink et al., 2018; ZLTO, 2019)

Beschrijving techniek

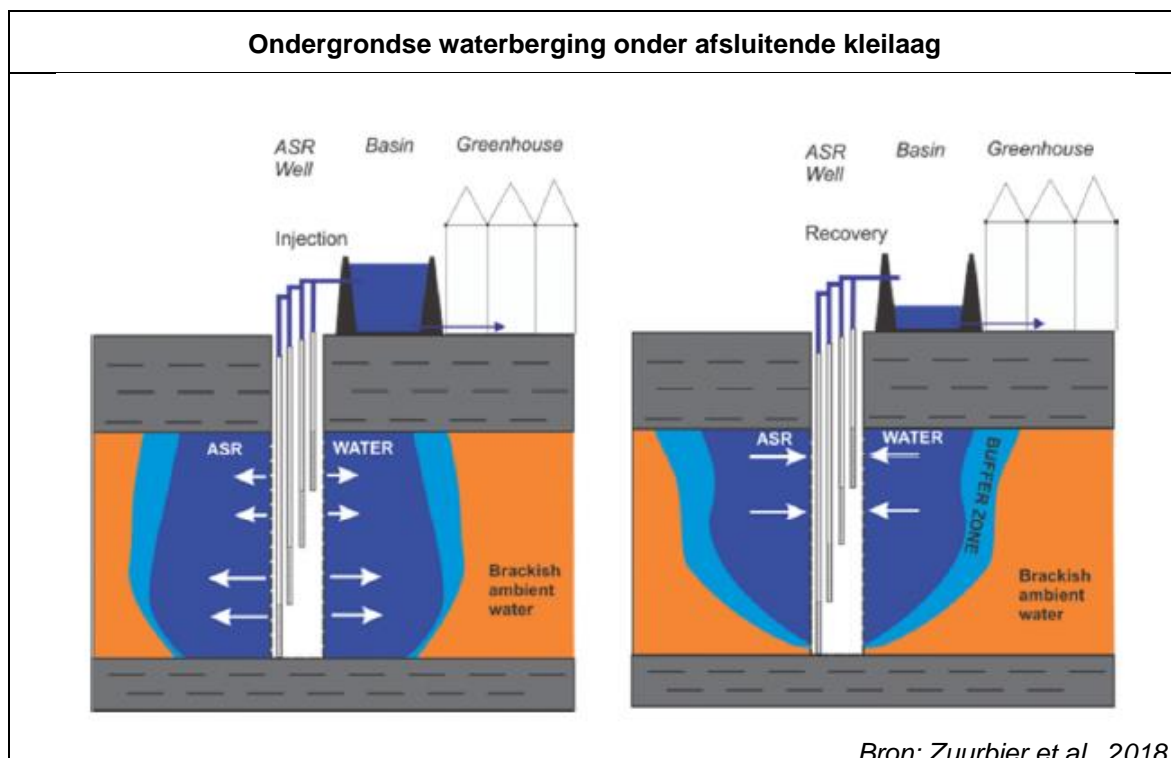
Bij Kreekruginfiltratie (KIS) wordt door actieve infiltratie van zoet water de grondwaterstand verhoogd. Dit gebeurt met behulp van een peilgestuurd drainagesysteem: hierin kan het drainagepeil verhoogd worden en/of het systeem wordt gebruikt om zoet oppervlaktewater te laten infiltreren. Doordat de grondwaterstand verhoogd wordt, zal de zoetwaterlens ook in dikte toenemen. Een grondwaterstandsverhoging van 1 m kan in theorie en onder ideale omstandigheden leiden tot een toename van 40 m dikte (GO-FRESH: Oude Essink et al., 2018).

Om het effect van kreekruginfiltratie te verhogen, kan er rondom de zoetwaterlens brak water onttrokken worden. Dit systeem heet SeepCat (afkorting voor Seepage Catcher) (De Louw et al., 2016). Doordat dit onttrokken brakke water geloosd moet worden, zullen de sloten zouter worden (TOPSOIL, 2019).

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)

3.2.2 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)
Kosten	0.20-0.70 eur/m ³ (Zuurbier et al., 2012)
Ervaringen	<ul style="list-style-type: none"> • Nootdorp: volledige operationeel systeem sinds 2010. Viervoudige verticale put (dus injecteren/terugwinnen is mogelijk op verschillende dieptes) (Zuurbier et al., 2017a). Tussen 2011 en 2017 is ongeveer 53% van het geïnfilterde water teruggewonnen. De maximale terugwinefficiëntie ligt hoger (ca 70%), maar de tuinder heeft in de praktijk minder water nodig. • Breezand (Noord Holland, zandgrond): 2014 – 2020. Drainage water van 10 ha wordt opgevangen om in de ondergrond te infiltreren. Volgens modelberekeningen kon terugwinrendement van 60% gehaald worden (Sparwater: Oord et al., 2019). • Ondergrondse opslag – Borgsweer (2015-2018) ondergrondse opslag in combinatie met druppelirrigatie (Sparwater: Oord et al., 2019). • Dinteloord: volledig operationeel systeem sinds 2018. Jaarlijkse opslagcapaciteit van 300.000 m³ aanvullend gezuiverd effluent van de Suiker Unie. Systeem bestaat uit 8 ASR putten, per twee gegroepeerd, resulterend in 4 zoetwaterbellen. Terugwinefficiëntie ca. 80% (Zuurbier et al., 2017b; Zuurbier et al., 2017c) • Urban Waterbuffer Spangen: operationeel systeem sinds 2018. Regenwater van het Sparta-voetbalstadion wordt verzameld, vorgezuiverd en ondergronds geborgen voor later hergebruik in tijden van watervraag. Er is tot heden toe ca. 30.000 m³ hemelwater geborgen. De terugwinefficiëntie wordt geschat op

	<p>ca. 70%, maar door een onjuiste bedrijfsvoering viel deze in de praktijk lager uit.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drainstore, Zuid-Beveland. In gebruik sinds 2020 bij biodynamisch akkerbouwbedrijf Meulwaeter. Drainagewater wordt via samengestelde drainage verzameld van een landbouwperceel van ca. 25 hectare, voorgezuiverd en middels drie verticale putten ondergronds geborgen in een bestaande zoetwaterlens. In het groeiseizoen kan het opgeslagen water met 9 ondiepe verticale onttrekkingsbronnen worden teruggewonnen en terugvloeien naar de drains zodat gewassen van onderaf worden voorzien van zoet water. • Het opslaan van regenwater in zoete grondwaterpakketten (zoet-in-zoet) is sinds de jaren 1980 gangbare praktijk in glastuinbouwgebieden Oostland (Zuid-Holland) en Aalsmeer (Noord-Holland). Zie Zuurbier en Raat (2018) voor een overzicht met ervaringen met ondergrondse waterberging sinds 1950.
--	--

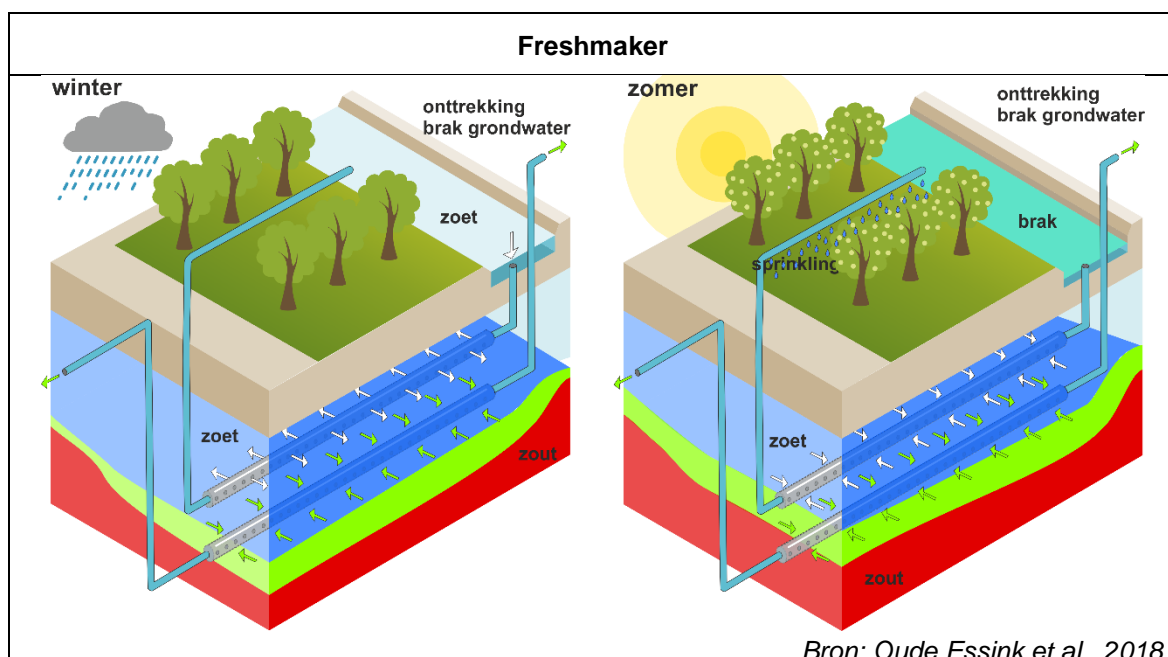
Beschrijving techniek

Bij ondergrondse waterberging onder een afsluitende kleilaag wordt in natte perioden zoet water ondergronds geïnfiltreerd in een brak of zout pakket met behulp van een verticale put. Bij een zoetwatervraag in droge perioden wordt het water via dezelfde put weer opgepompt (Van Bakel et al., 2014). Er kan ook gekozen worden om het water via een andere put (op dezelfde hoogte) weer te onttrekken (Oord et al., 2019). Dit concept wordt ook wel Aquifer Storage and Recovery (ASR) genoemd, maar de meeste andere technieken die in dit hoofdstuk benoemd zijn vallen ook onder die noemer.

Door ondergrondse waterberging onder een afsluitende kleilaag kan een grote hoeveelheid zoet water voor een lange periode vastgehouden worden, terwijl het ook een goede kwaliteit behoudt. Dit is vaak gunstiger dan bovengrondse waterberging, wat veel ruimte inneemt. Daarnaast kan ondergrondse waterberging met injectie zorgen voor extra opslag en afvoermogelijkheid van water tijdens intense neerslag in stedelijke gebieden, waardoor de waterveiligheid verbeterd wordt (Deltafact Ondergrondse Waterberging). Waterkwaliteit is een belangrijk aspect bij ondergronds infiltreren: er is strenge wetgeving om te voorkomen dat de grondwaterkwaliteit verslechterd. Om deze reden is het vaak nodig om het water voor infiltratie te zuiveren.

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)
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)
Ervaringen	<ul style="list-style-type: none"> Ovezande (Zeeland): 2013-2017. Opslag en terugwinning van 5000 m³/jaar werd gehaald, inschatting was maximaal 6000m³/jaar. Inrichting & onderhoud van de HDDW's en de voorzuivering van infiltratiewater moet putverstopping voorkomen. Ook dient infiltratie van oppervlaktewater in winterperiode plaats te vinden, om gewasbeschermingsmiddelen in het water te minimaliseren. Lokale hydrologie werd niet negatief beïnvloed, de omgeving werd licht verzoet (GO-FRESH: Oude Essink et al., 2018)

Beschrijving techniek

De Freshmaker wordt toegepast in zandgronden of zandige lagen in zoute gebieden. Er wordt water geïnfiltreerd of geïnjecteerd in de ondergrond met behulp van horizontale putten (HDDW, Horizontal Directional Drilled Well) tijdens natte periodes. In tijden van droogte kan dit water met dezelfde put weer opgepompt worden. Daarnaast wordt onder de zoetwaterlens met behulp van een tweede horizontale put ook zout water onttrokken om het opdrijven van zout water tegen te gaan en verzilting van de ondiepe put te voorkomen. Door het afvangen van het zoute water wordt ook de ruimte voor de opslag van zoet water vergroot (GO-FRESH: Oude Essink et al., 2018; Van Bakel et al., 2014).

Doordat de Freshmaker een lokaal systeem is, zal wegstromen van het water snel tot een afname in efficiëntie leiden, in tegenstelling tot bijvoorbeeld KIS, waarbij over een veel groter oppervlakte wordt geïnfiltreerd.

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 injectie laag	Niet te hoog: geïnjecteerde water mag niet wegstromen.

3.3 Samenvatting oplossingen en technieken

In onderstaande tabel is het effect van de technieken samengevat die in de vorige paragrafen besproken zijn. De data is afkomstig uit het rapport van het FWOO project (van Bakel et al., 2014). Het betreft een eerste schatting van mogelijk te behalen effecten, wat betekent dat de waarden kunnen afwijken afhankelijk van de omstandigheden op een bepaalde locatie.

Maatregel	Ruimte voor wateropslag (m ³ /ha) (Nikkels et al., 2019)	Effect				
		Verdikking zoetwaterlens (m)	GVG* (m)	GVO* (m)	Afvoer*	Water beschikbaarheid
Peilgestuurde drainage	300	3	+0,3	nvt	Kleiner	Vermindering uitzakken grondwaterstand + bestrijding verzilting
Antiverziltingsdrainage - Drains2Buffer	900	0,5	0	nvt	Zouter	Bestrijding verzilting op het perceel
Waterconservering door stuwen	200	1	+0,2	+0,4	Kleiner	Vermindering uitzakken grondwaterstand + bestrijding verzilting
Kreekruginfiltratie (KIS)	1500	5	+0,5	nvt	Kleiner	Oppompen water uit ondergrond
Ondergrondse waterberging onder een afsluitende kleilaag	4200	15	nvt	nvt	Kleiner	Oppompen water uit ondergrond
Freshmaker	2000	10	nvt	nvt	Zouter	Oppompen water uit ondergrond

*GVG: Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand. GVO: Gemiddelde Voorjaars Oppervlaktewaterstand. Afvoer betreft de afvoeren van het lokale oppervlaktewater.

4 Potentiekaarten

4.1 Inleiding

Op basis van fysische eigenschappen van het water- en bodemsysteem kan per locatie worden bepaald hoe kansrijk een techniek is. Potentiekaarten, ook wel kansenkaarten genoemd, geven deze potentie weer op een kaart en geven daarmee inzicht in de opschaalbaarheid van de oplossing.

Potentiekaarten van verschillende maatregelen zijn in eerdere projecten opgesteld op landelijke schaal (Fresh Water Options Optimizer; Van Bakel et al., 2014), voor Zeeland (GO-FRESH; Oude Essink et al., 2018) en voor het westelijke kustgebied van Vlaanderen (GO-FRESH Vlaanderen; De Louw et al., 2019). In het huidige project zijn de factoren, achtergrondgegevens en ervaringen uit deze projecten zoveel mogelijk hergebruikt en waar mogelijk geüpdatet. Een belangrijke verbetering is bijvoorbeeld dat bij de eerdere potentiekaarten veelal niet de FRESHEM gegevens (zoutgehaltes grondwater) zijn gebruikt. Verder zijn voor de nieuwe kaarten grondwaterstanden en kwel uit het Zeeland model (Van Baaren et al., 2018) gehaald omdat dit model rekening houdt met dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming wat van groot belang is bij het voorkomen van brak en zout grondwater.

Bij het opstellen van de potentiekaarten zijn alleen fysische eigenschappen van de hydro(geo)logie meegenomen en geen factoren zoals waterbeschikbaarheid, waterkwaliteit en wetgeving. De potentiekaarten geven hiermee een eerste indicatie voor de regionale schaal. Bij de beschrijving van de kaarten wordt een aantal van deze factoren wel genoemd, zodat de tabellen ook kunnen worden gebruikt bij locatie-specifieke studies. Voor daadwerkelijke toepassing van een maatregel op lokale schaal is altijd maatwerk nodig inclusief metingen om de regionale gegevens te valideren.

Voor de volgende technieken zijn potentiekaarten opgesteld, omdat deze het meest kansrijk worden geacht voor Schouwen-Duiveland:

- Peilgestuurde drainage
- Antiverziltingsdrainage: Drains2Buffer
- Kreekkrug Infiltratie Systeem (KIS)
- Freshmaker
- Ondergrondse waterberging onder afsluitende kleilaag

Gegevens die zijn gebruikt voor het opstellen van de potentiekaarten zijn:

Factor	Bron	Schaal
Maaiveldhoogte	Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN)	25 x 25 m
Grondwaterstanden en kwel	Zeeland model (Van Baaren et al., 2016)	100 x 100 m
Zoutgehaltes grondwater	FRESHEM (Van Baaren et al., 2018)	50 x 50 m
Opbouw ondergrond	GeoTOP	100 x 100 m

Deze factoren worden volgens een bepaalde weging gecombineerd om te komen tot de potentiekaarten. De uiteindelijke potentiekaarten zijn samengesteld op een schaal van 100 x 100 m.

4.2 Peilgestuurde drainage

Peilgestuurde drainage zal alleen toegepast worden in situaties waarin drainage gewenst is. Wanneer de grondwaterstanden laag zijn of er geen kwel optreedt, zal er niet snel voor een drainagesysteem worden gekozen en zal er ook geen peilgestuurde drainage aangelegd worden. Daarnaast is het belangrijk dat er geen storende lagen aanwezig zijn en de doorlatendheid rondom de drainagebuizen voldoende is zodat de drainage niet gehinderd wordt.

De aanwezigheid van ijzer in de bodem of grondwater kan voor negatieve effecten zorgen omdat de drainagebuizen dan snel verstoppert. Hier is echter geen goede informatie voor beschikbaar, dus deze factor is niet verder verwerkt. Hetzelfde geldt voor de aanwezigheid van traditionele buisdrainage.

4.2.1 Overzicht factoren

Factoren:	Criteria en score:	Beschikbare kaart	Uitleg
Factor A: Aanwezigheid klei of veen op drainageniveau (0 – 1.5 m)	0: klei of veen op drainageniveau 1: zand op drainageniveau	GeoTOP	Veel veen of klei is minder gunstig voor werking drainage. Bij ongerijpte klei is toepassen drainage moeilijk.
Factor B: Kwel / wegzijging (Zomersituatie)	0: Wegzijging (>0 mm/d) 1: Kwel (wegzijging <0 mm/d)	Zeeland model	Toepassen van drainage en opzetten grondwaterstand is gunstiger in kwelsituatie.
Factor C: Drainagebehoefte	0: Grondwaterstand winter >1,5 m onder maaiveld 1: Grondwaterstand winter <1,5 m onder maaiveld	Zeeland model	Bij diepe grondwaterstanden is er geen behoefte aan drainage.
Overige factoren (niet in kaarten verwerkt):			
Factor D: Voorkomen van volledig ongerijpte klei	Bij ondiepe ongerijpte klei werkt de drainage niet goed.	Niet beschikbaar	Bij ondiepe ongerijpte klei werkt de drainage niet goed.
Factor E: IJzer in bodemprofiel of kwelwater	Geen ijzer is gunstiger.	Niet beschikbaar	IJzerneerslag kan zorgen voor verstopping van drains. In kwelgebieden is de kans op ijzer groter.
Factor F: Aanwezigheid buisdrainage	Gunstig indien mogelijkheid bestaat om peilgestuurd te maken of aan vervanging toe is.	Niet beschikbaar	Het kan kostenbesparend zijn als bestaande drainage peilgestuurd kan worden gemaakt. Zo niet, dan is van belang of drainage al aan vervanging toe is.

4.2.2 Combineren factoren

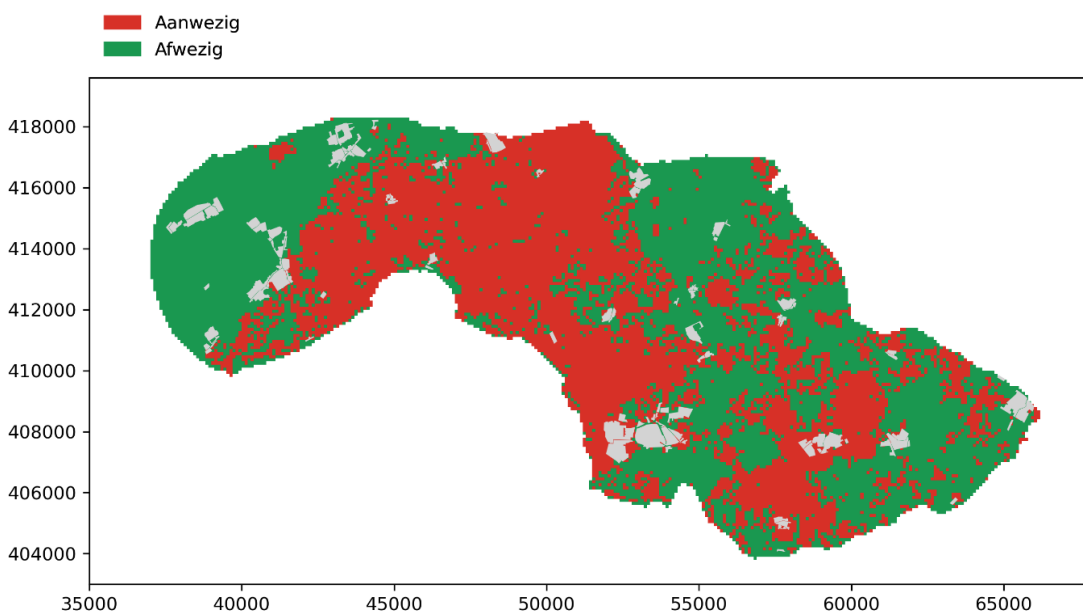
In vergelijking met de in eerdere studies gemaakte potentiekaarten wordt in de huidige studie de drooglegging niet meegenomen. Reden hiervoor is dat deze op Schouwen-Duiveland overall als gunstig wordt geclassificeerd.

Factor C is een doorslaggevende factor: indien geen drainagebehoefte bestaan is de techniek niet toepasbaar. Factoren A en B kunnen vervolgens de kansrijkheid vergroten.

Geschiktheid peilgestuurde drainage	Criteria en score
Zeer Kansrijk	Als A=1 en B=1 en C=1
Kansrijk	Als B=1 en C=1
Mogelijk kansrijk	Als C=1
Niet kansrijk	Alle andere combinaties

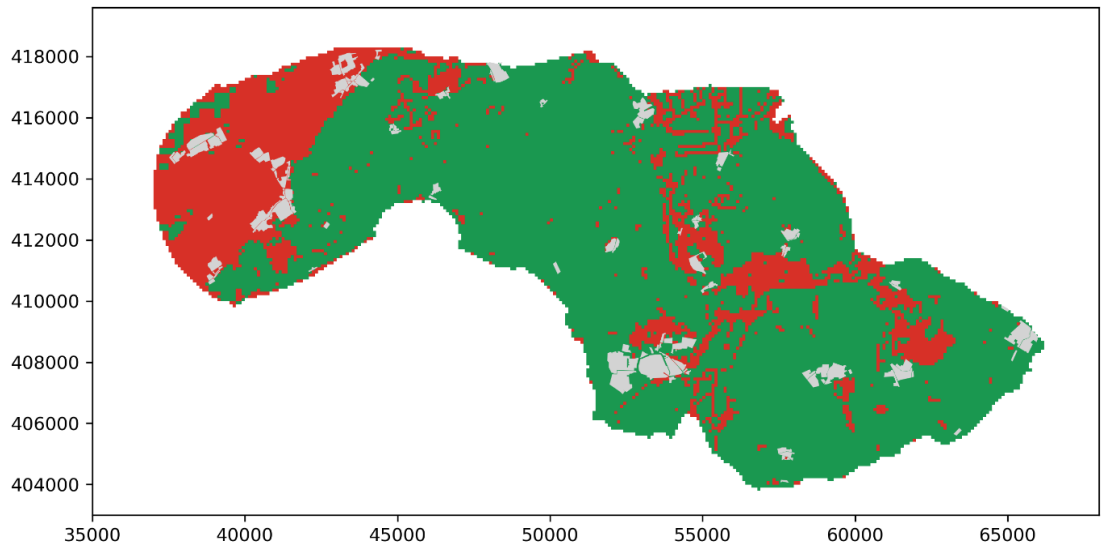
4.2.3 Kaarten factoren

Kanskaart A - Regelbare Drainage. Klei/veen in bovenste 1.5 m



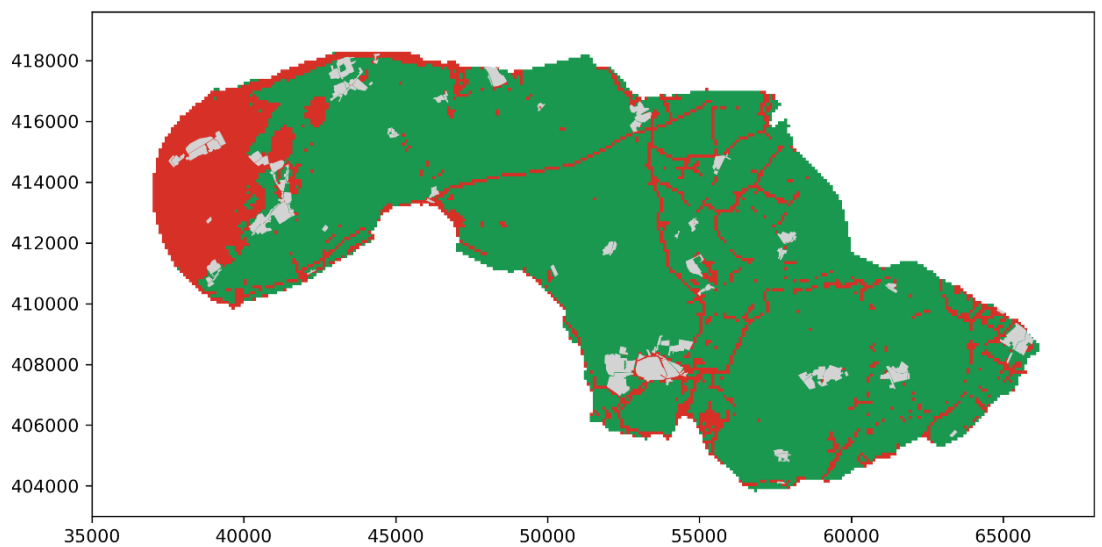
Kanskaart B - Regelbare Drainage. Kwel/wegzijging (a.d.h.v zomerkwelflux)

Wegzijging
Kwel



Kanskaart C - Regelbare Drainage. Drainagebehoefte

Wintergrondwaterstand > 1.5m-mv
Wintergrondwaterstand < 1.5m-mv

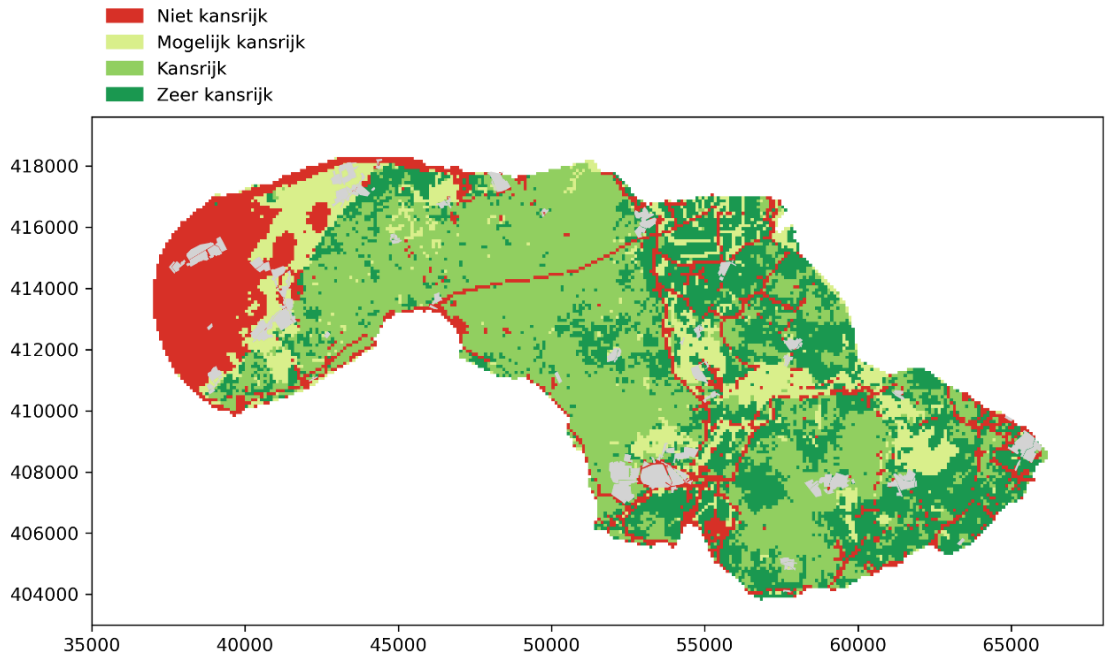


4.2.4 Potentiekaart peilgestuurde drainage

De potentiekaart voor peilgestuurde drainage geeft aan dat deze techniek op nagenoeg heel Schouwen-Duiveland kansrijk is, met uitzondering van de duinen. Dit komt overeen met de kaart van Van Bakel et al. (2014).

Doordat peilopzet gemakkelijker is in een zandigere ondergrond is de kansrijkheid hoger in het oostelijke deel van het eiland. Belangrijk voor Schouwen-Duiveland is dat er geen informatie beschikbaar is op regionale schaal over het voorkomen van ongerijpte klei waardoor Factor E niet in de kaarten is meegenomen. Dit speelt met name ten westen van de kreekrug bij Brouwershaven – Noordgouwe - Zierikzee. De zware grond in deze poelgronden verlaagd in de praktijk de kansrijkheid van innovatieve drainagesystemen.

Kanskaart Peilgestuurde Drainage



4.3 Antiverziltingsdrainage - Drains2Buffer

Voor antiverziltingsdrainage - Drains2Buffer zijn dezelfde factoren van belang als bij peilgestuurde drainage, met een aantal aanpassingen: de diepte van het zoet-zout water grensvlak wordt meegenomen en de aanwezigheid van ondoorlatende lagen wordt berekend op de nieuwe, diepere, ligging van de drainagesystemen.

4.3.1 Overzicht factoren

Factoren:	Criteria en score:	Beschikbare kaart	Uitleg
Factor A: Aanwezigheid klei of veen op drainageniveau (0 – 2 m)	0: klei of veen op drainageniveau 1: zand op drainageniveau	GeoTOP	Veel veen of klei is minder gunstig voor werking drainage. Bij ongerijpte klei is toepassen drainage moeilijk.
Factor B: Kwel / wegzijging (Zomersituatie)	0: Wegzijging (>0 mm/d) 1: Kwel (wegzijging <0 mm/d)	Zeeland model	Toepassen van drainage en opzetten grondwaterstand is gunstiger in kwelsituatie.
Factor C: Drainagebehoefte	0: Grondwaterstand winter >1,5 m onder maaiveld 1: Grondwaterstand winter <1,5 m onder maaiveld	Zeeland model	Bij diepe grondwaterstanden is er geen behoefte aan drainage.
Factor D1: diepte zoet-zout grensvlak. 1500 mg/l	0: > 4 m-mv 1: 2 - 4 m-mv 2: 0 - 2 m-mv	FRESHEM	Een zekere mate van verzilting: anders is toepassen van antiverziltingsdrainage niet nodig.
Factor D2: Diepte zoet-zout grensvlak. 10.000 mg/L	0: > 4 m-mv 1: 2 - 4 m-mv 2: 0 - 2 m-mv	FRESHEM	Een zekere mate van verzilting: anders is toepassen van antiverziltingsdrainage niet nodig.
Overige factoren (niet in kaarten verwerkt):			
Factor E: Voorkomen van volledig ongerijpte klei	Bij ondiepe ongerijpte klei werkt de drainage niet goed.	Niet beschikbaar	Bij ondiepe ongerijpte klei werkt de drainage niet goed.
Factor F: IJzer in bodemprofiel of kwelwater	Geen ijzer is gunstiger.	Niet beschikbaar	Geen info beschikbaar. In kwelgebieden is de kans op ijzer groter. IJzerneerslag kan zorgen voor verstopping van drains.

4.3.2 Combineren factoren

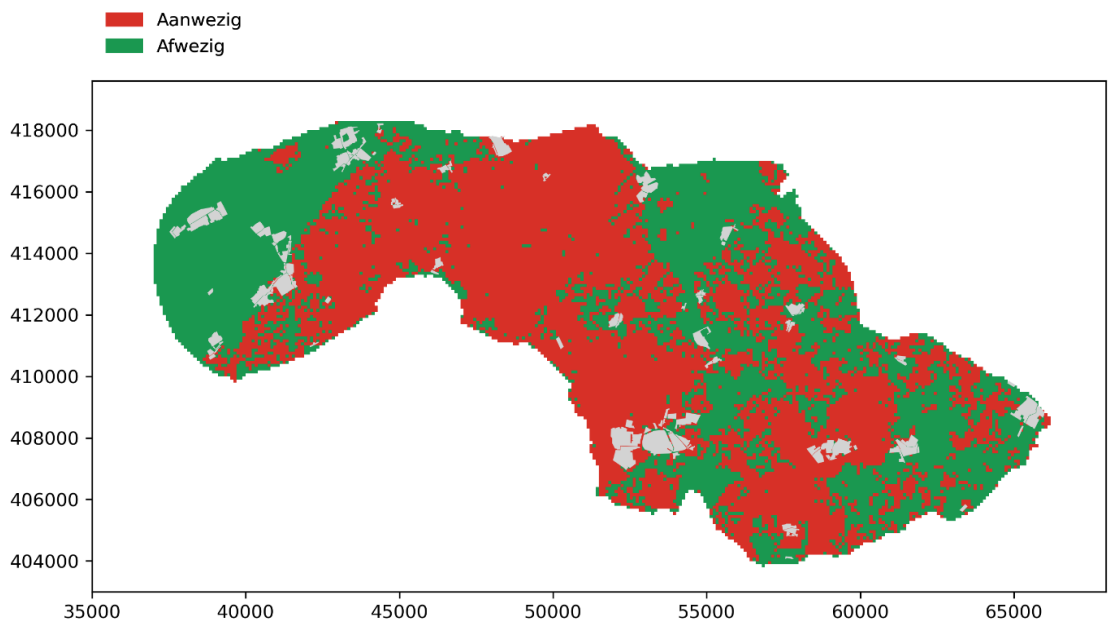
De combinatie van factoren is vergelijkbaar met die in eerdere studies. Ten opzichte van de meest recente kaarten (GO-FRESH) wordt in de huidige studie aanvullend ook gekeken naar de drainagebehoefte (Factor C). In het GO-FRESH project zijn ook de capillaire eigenschappen van de bodem meegewogen: wanneer deze goed zijn, dan zal de bodem meer kans lopen op zout in de wortelzone.

Doorslaggevende factoren zijn B, C en D1. De techniek is toepasbaar in een kwelsituatie met een drainagebehoefte en ondiep zoet-zout grensvlak. Gunstige Factoren A, D1 en D2 verhogen vervolgens de kansrijkheid.

Geschiktheid antiverziltingsdrainage - Drains2Buffer	Criteria en score
Zeer Kansrijk	Als A=1 en B=1 en C=1 en D1=2 en D2>0
Kansrijk	Als B=1 en C=1 en D1>0 en D2>0
Mogelijk kansrijk	Als B=1 en C=1 en D1>0
Niet kansrijk	Alle andere combinaties

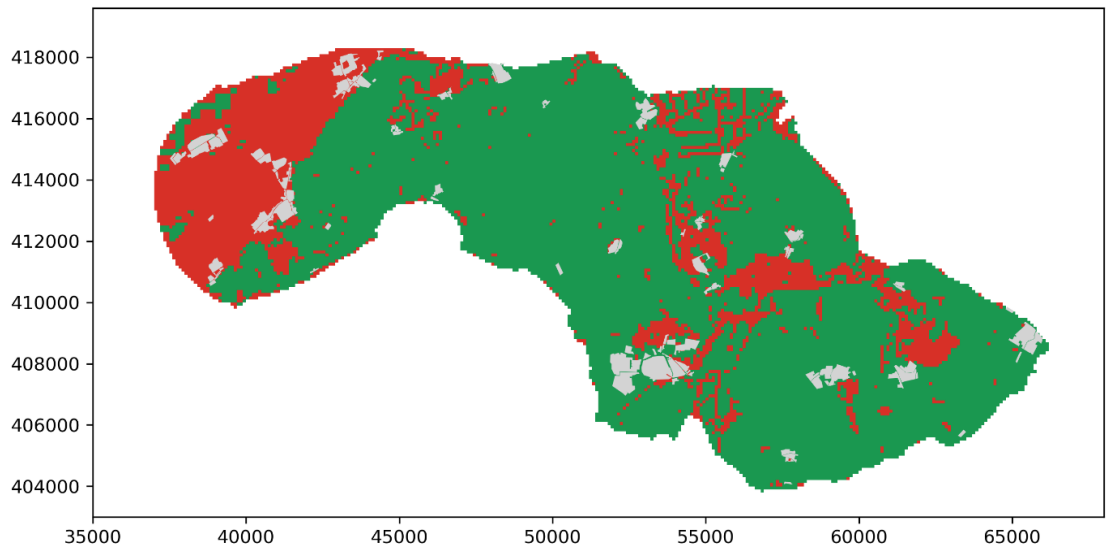
4.3.3 Kaarten factoren

Kanskaart A - Antiverziltingsdrainage. Klei/veen in bovenste 2 m



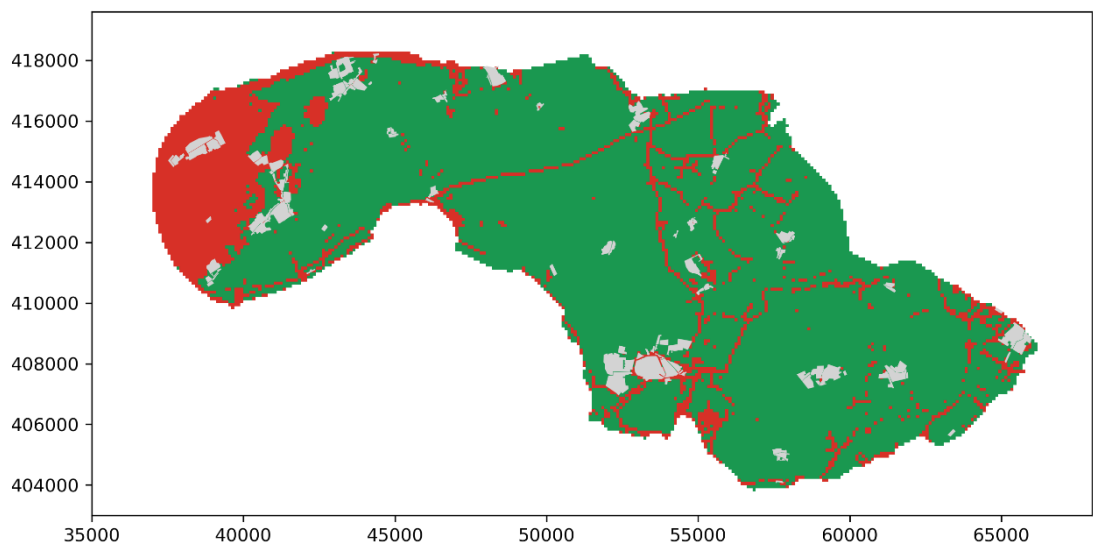
Kanskaart B - Antiverziltingsdrainage. Kwel/wegzijing (a.d.h.v zomerkwelflux)

Wegzijing
Kwel



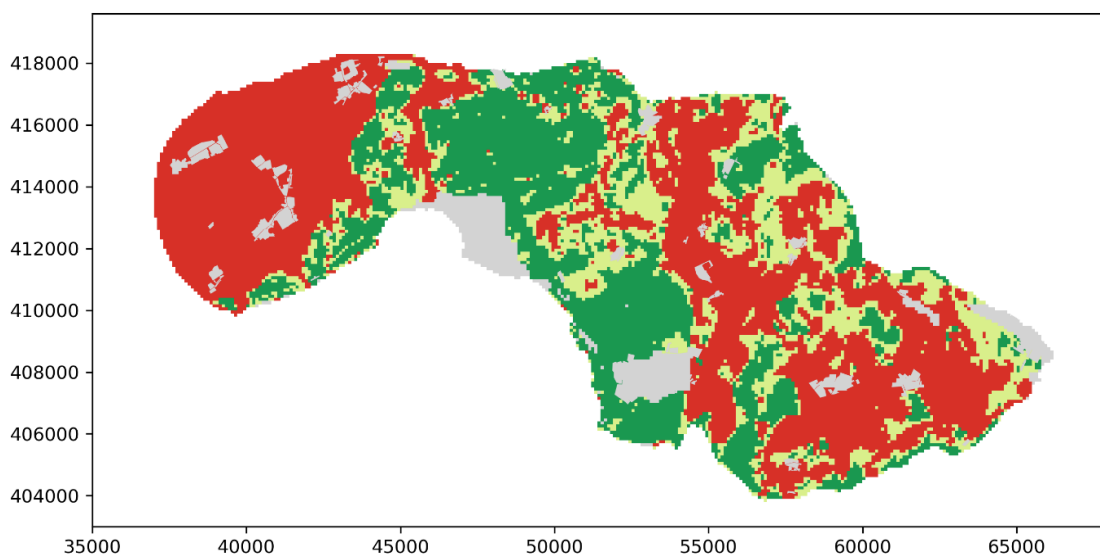
Kanskaart C - Antiverziltingsdrainage. Drainagebehoefte

Wintergrondwaterstand > 1.5m-mv
Wintergrondwaterstand < 1.5m-mv



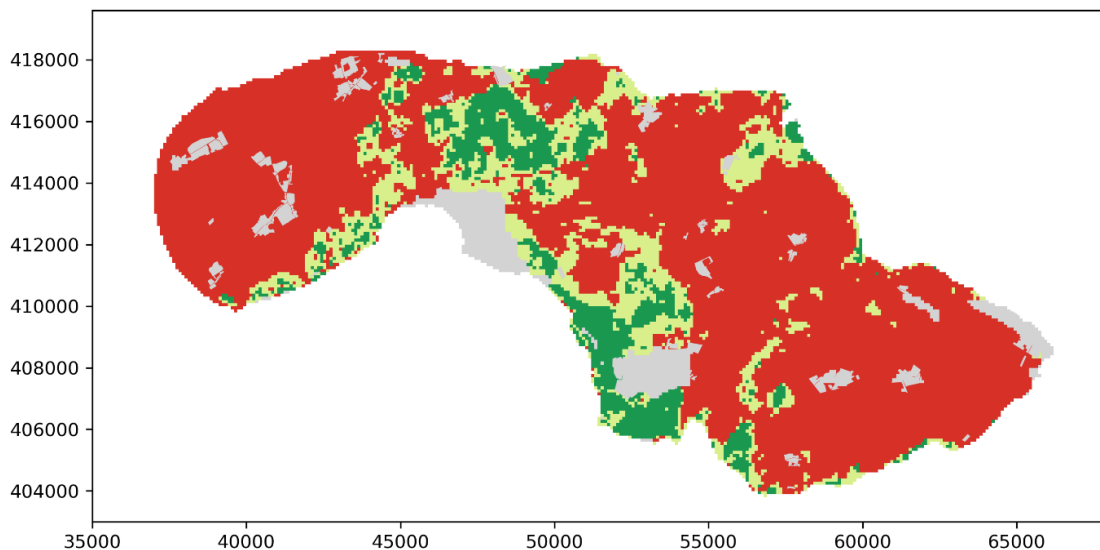
Kanskaart D1 - Antiverziltingsdrainage. Diepte zoet-zout grensvlak (1500 mg/L)

- Diepte > 4 m-mv
- Diepte 2 - 4 m-mv
- Diepte 0 - 2 m-mv
- Geen data



Kanskaart D2 - Antiverziltingsdrainage. Diepte zoet-zout grensvlak (10000 mg/L)

- Diepte > 4 m-mv
- Diepte 2 - 4 m-mv
- Diepte 0 - 2 m-mv
- Geen data



4.3.4 Potentiekaart antiverziltingsdrainage - Drains2Buffer

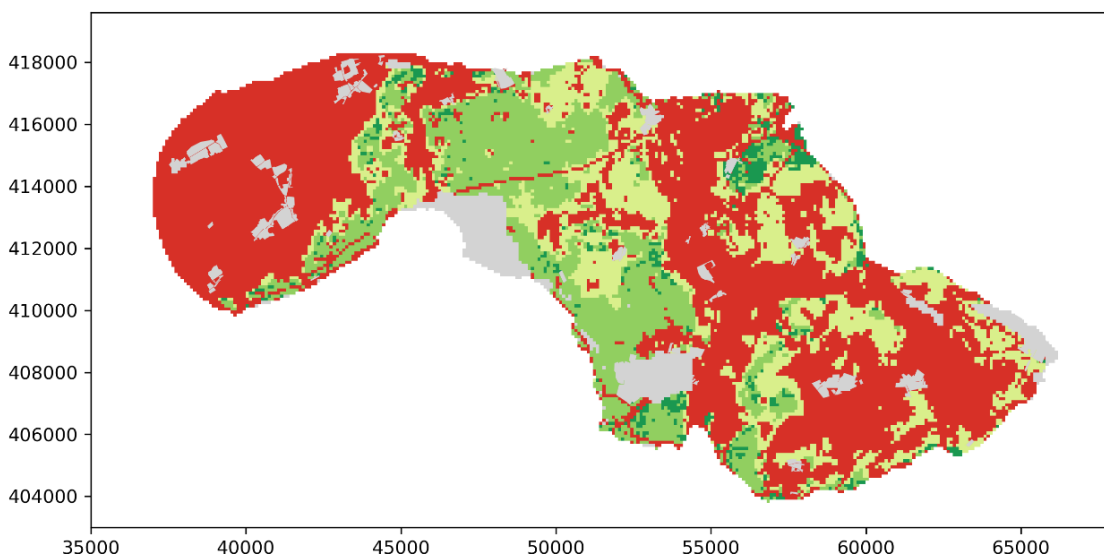
De potentiekaart van antiverziltingsdrainage – Drains2Buffer geeft aan dat de techniek kansrijk is op een groot deel van de poelgronden. Voor het duingebied en de kreekruigen is de techniek niet kansrijk, doordat hier het zoet-zout grensvlak zich te diep bevindt en/of wegzijging plaatsvindt. In de polders komt weinig zeer kansrijk voor doordat factor A hierbij bepalend is: in de polders komt op de meeste plekken wel klei of veen voor in de bovenste 2 meter van de bodem.

Belangrijk voor Schouwen-Duiveland is dat er geen informatie beschikbaar is op regionale schaal over het voorkomen van ongerijpte klei waardoor Factor E niet in de kaarten is meegenomen. Dit speelt met name ten westen van de kreekrug bij Brouwershaven – Noordgouwe - Zierikzee. De zware grond in deze poelgronden verlaagd in de praktijk de kansrijkheid van innovatieve drainagesystemen.

De potentiekaart voor antiverziltingsdrainage: Drains2Buffer is vergelijkbaar met de potentiekaart uit het GO-FRESH project (Oude Essink et al., 2018). De kaart in de huidige studie geeft wat minder kansrijke gebieden in het oostelijke deel van Schouwen-Duiveland doordat de fijnschalige FRESHEM zoet-zout kaart is gebruikt en het grensvlak zich hier op wat grotere diepte bevindt (>4 m-mv).

Kanskaart Antiverziltingsdrainage

- Niet kansrijk
- Mogelijk kansrijk
- Kansrijk
- Zeer kansrijk
- Data incompleet



4.4 Kreekrug Infiltratie Systeem (KIS)

Een Kreekrug Infiltratie Systeem is toepasbaar in een zandige ondergrond met aanwezigheid van een zoetwaterlens. Dit is vaak een kreekrug, maar kan bijvoorbeeld ook een dekzandrug of duin zijn. Daarbij geldt dat er genoeg ruimte aan de boven- en onderkant van de zoetwaterlens moet zijn om de lens te laten groeien: de grondwaterstand moet niet te hoog zijn en er moet genoeg ruimte zijn tussen de onderkant van de zoetwaterlens en de onderkant van het freatisch pakket. Het is ook van belang dat er voldoende zoet water beschikbaar is om te infiltreren (oppervlakte water, drainagewater, restwater, etc), maar doordat deze informatie niet beschikbaar is, is deze factor niet in de kaarten opgenomen.

4.4.1 Overzicht factoren

Factor	Criteria & score	Beschikbare kaart	Uitleg
Factor A: voorkomen van infiltratie	0: kwel 1: infiltratie	Zeeland model: Winter kwelflux	Het optreden van infiltratie geeft aan dat het een gebied is (zoals een hoogliggende kreekrug) waar waarschijnlijk een zoetwaterlens in zit of kan vormen. Vooral de winter infiltratie is belangrijk, omdat dan de lens aangevuld wordt
Factor B: voorkomen van kreekrug	0: afwezig 1: aanwezig	Van Bakel et al., 2014 op basis van GeoTOP	Als er een kreekrug aanwezig is, zijn de omstandigheden waarschijnlijk goed.
Factor C: diepte zoet-zout grensvlak (1.5 g/L)	0: ondiep grensvlak (< 5m) 1: diep grensvlak (>=5m)	FRESHEM	Indien er al een zoetwaterlens aanwezig is, dan is kans op slagen groter.
Factor D: Voorkomen ondiepe klei en veenlagen	Cumulatieve dikte klei in bovenste 4 m 0: ≥ 1.5 m 1: < 1.5 m	GeoTOP	Infiltratie in klei/veen verloopt niet goed.
Factor E: aanwezigheid klei/veen op 4-6 m (onttrekkingsdiepte)	0: klei of veen aanwezig 1: klei of veen afwezig	GeoTOP	Klei/veen op de diepte van de onttrekkingsdrains beïnvloedt de stroming.
Factor F: Diepte grondwaterstand	0: intergrondwaterstand < 1 m-mv 1: intergrondwaterstand ≥ 1 m-mv	Zeeland model: grondwaterstand	Er moet ruimte zijn voor verhogen winter grondwaterstand.
Factor G: groeimogelijkheden lens	0: minder dan 5 m 1: meer dan 5 m	GeoTOP / FRESHEM	De afstand tussen de onderkant van de lens (het zoet-zout grensvlak) en de onderkant van het freatisch pakket (ondoorlatende laag: 1 m of meer klei/veen)
Overige factoren (niet in kaarten verwerkt):			
Factor H: beschikbaarheid zoet water	Zoet water moet beschikbaar zijn (oppervlakte water, hemelwater, drainwater, etc)	Niet beschikbaar.	Er moet in de winter zoet water beschikbaar zijn om te kunnen infiltreren.

4.4.2 Combineren factoren

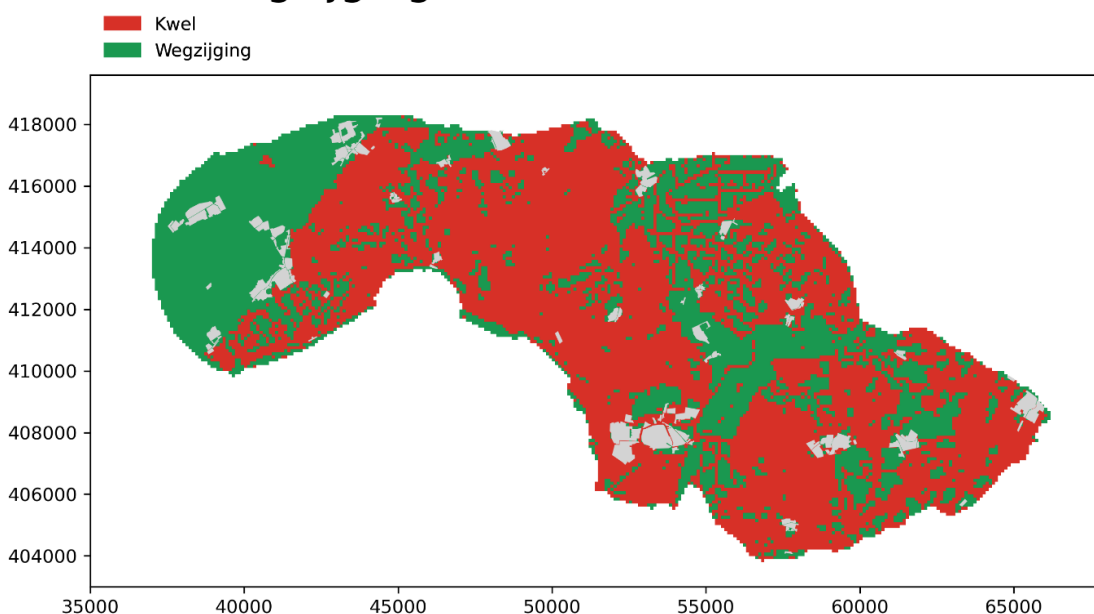
De gebruikte factoren zijn op hoofdlijnen gelijk aan de kansenkaarten opgesteld in Van Bakel et al., 2014. Enkele kleine verschillen bestaan in keuzes van criteria vanwege het gebruik van andere databronnen (bijv. 'GHG > 0.85 m-mv' uit het NHI versus Factor F 'wintergrondwaterstand > 1m-mv' uit het Zeeland model). In de vorige studies (van Bakel et al., 2014; Oude Essink et al., 2018) was de aanwezigheid van een zout gebied ook van belang: wanneer in de ondergrond geen zout grondwater aanwezig is zal er ook geen behoefte zijn aan een Kreekrug Infiltratie Systeem. Voor Schouwen-Duiveland is dit echter overal het geval (m.u.v. duinen).

Factoren A en B zijn samen als criteria opgenomen: ofwel er is sprake van een infiltratieflux ofwel de locatie is gelegen op een kreekrug. Vaak is beide het geval. Factor C is vervolgens doorslaggevende factor voor enige kansrijkheid. De techniek is momenteel niet haalbaar indien minder dan 5 meter zoetwaterlens aanwezig is (Factor C). Daarnaast mogen storende lagen de infiltratie niet hinderen (Factor D). Factoren E, F en G verhogen vervolgens de kansrijkheid.

Geschiktheid kreekrug infiltratie systeem	Criteria en score
Zeer Kansrijk	Als (A+B>0) en C=1 en D=1 en E=1 en F=1 en G=1
Kansrijk	Als (A+B>0) en C=1 en D=1 en (E + F)>0
Mogelijk kansrijk	Als (A+B>0) en C=1
Niet kansrijk	Alle andere combinaties

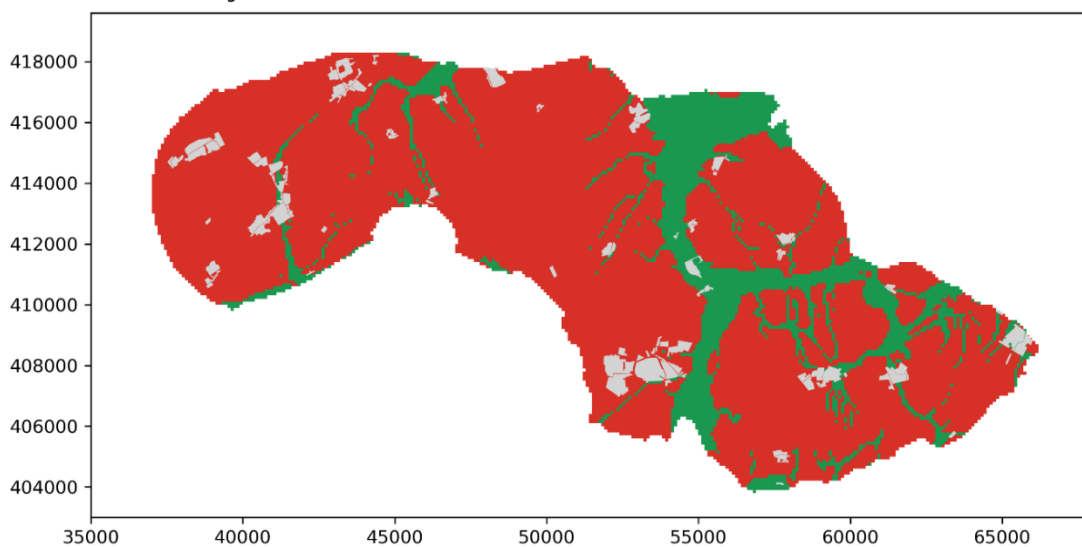
4.4.3 Kaarten factoren

Kanskaart A - KIS. Kwel/wegzijging (a.d.h.v winterkwelflux)



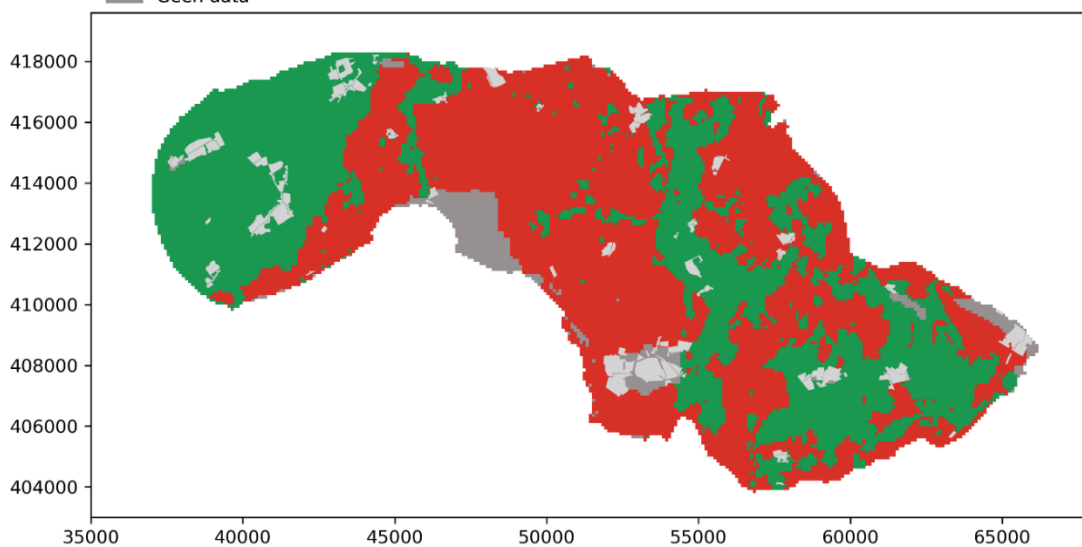
Kanskaart B - KIS. Aanwezigheid kreekrug

- Geen kreekrug
- Kreekrug



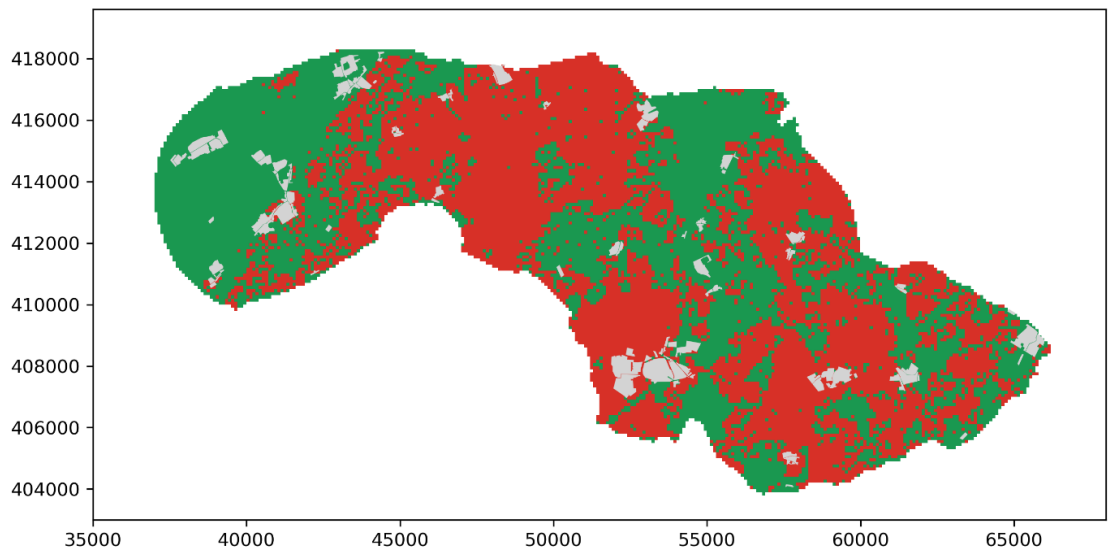
Kanskaart C - KIS. Diepte zoet-zout grensvlak (1.5 g/L)

- ≤ 5 m
- >5 m
- Geen data



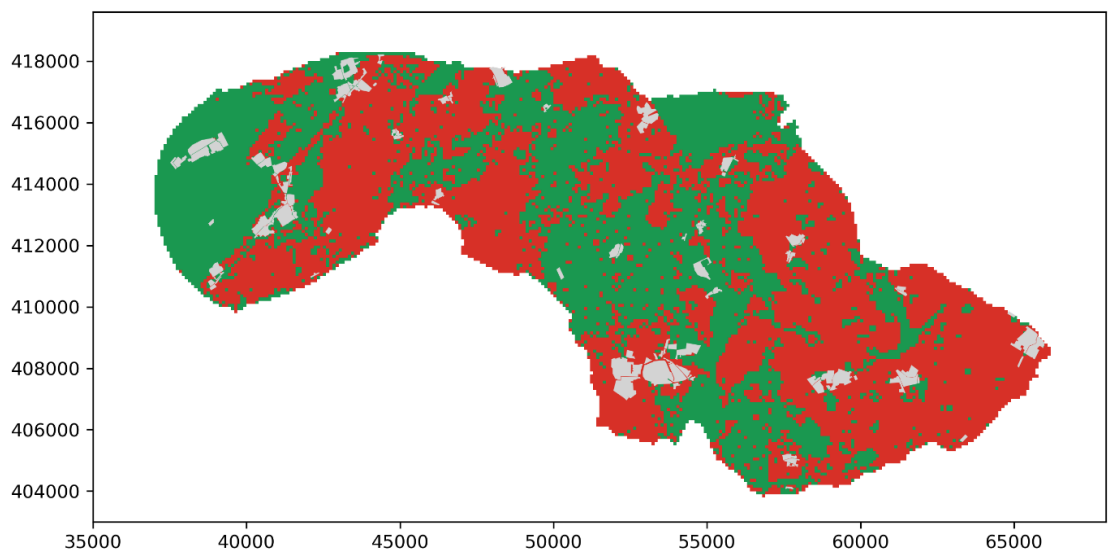
Kanskaart D - KIS. Cumulatieve dikte klei of veen in bovenste 4 m)

- ≥ 1.5 m
- < 1.5 m



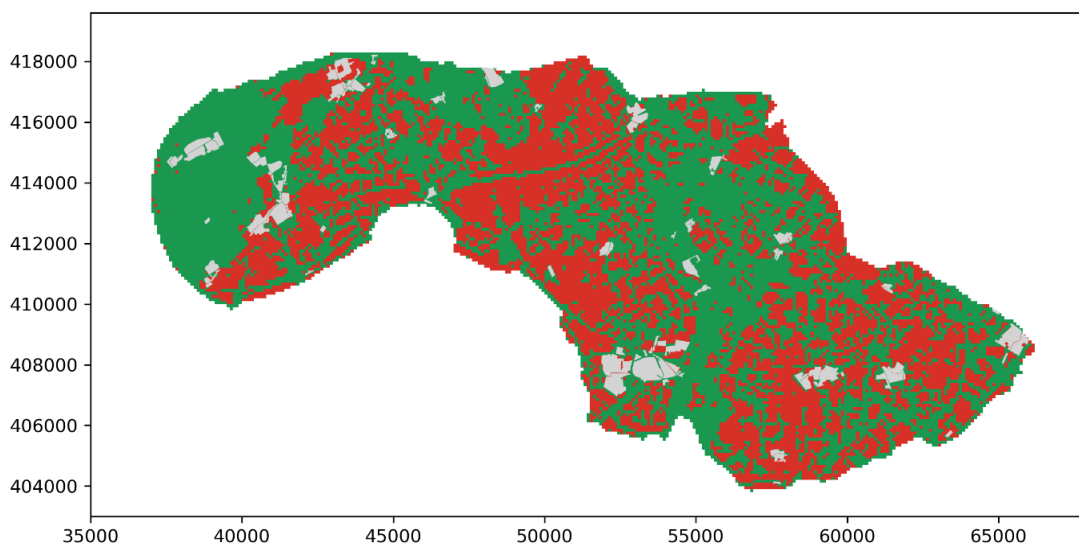
Kanskaart E - KIS. Klei/veen op 4-6 m (onttrekkingsdiepte)

- Aanwezig
- Afwezig



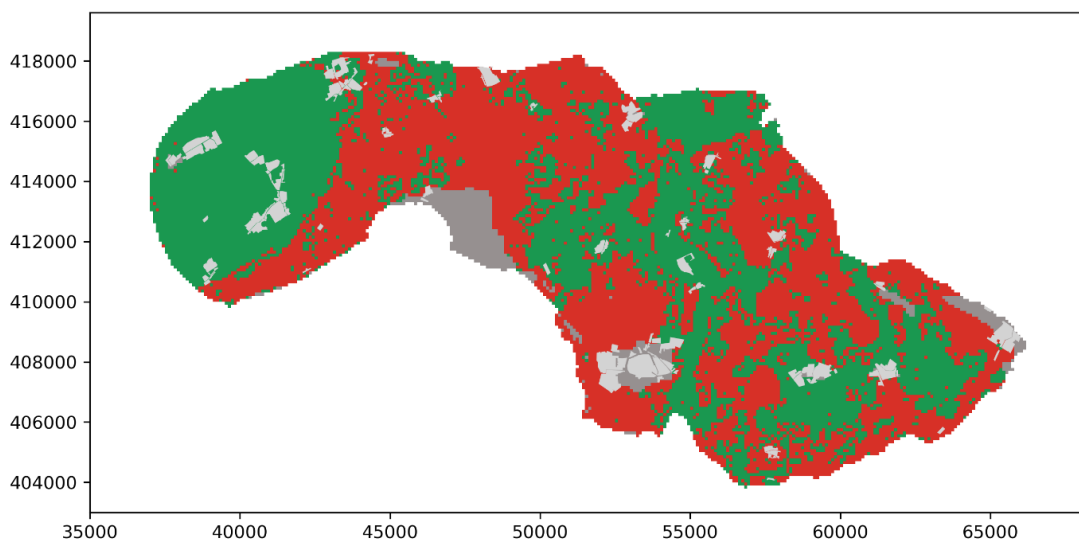
Kanskaart F - KIS. Diepte grondwaterstand (winter)

- Head < 1 m-mv
- Head > 1 m-mv



Kanskaart G - KIS. Groeimogelijkheden lens: afstand tussen zoet-zout grensvlak (1500 mg/L) & klei/veen laag

- <= 5 m
- > 5 m
- Geen data

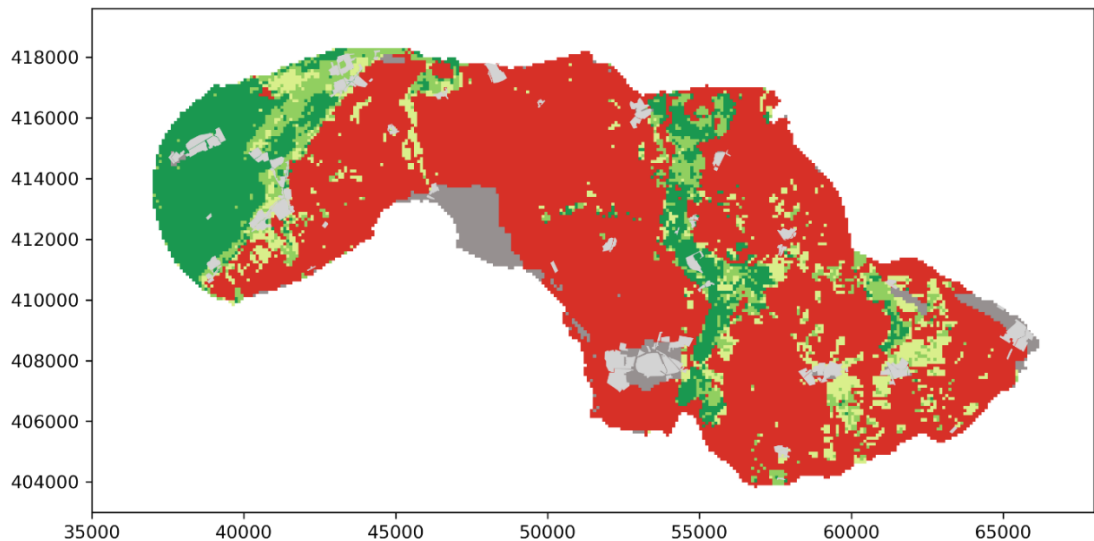


4.4.4 Potentiekaart Kreekrug Infiltratie Systeem

De potentiekaart laat zien dat de techniek toepasbaar is op de meeste kreekruggen op het eiland. Met name de grote kreekrug bij Brouwershaven – Noordgouwe – Zierikzee komt duidelijk naar voren en daarnaast zijn de kleinere kreekruggen nabij Ellemeet zichtbaar. Ook enkele locaties aan de oostzijde van het eiland komen als kansrijk naar voren. De duinen zijn geclassificeerd als zeer kansrijk, echter moet hierbij worden opgemerkt dat toepassing van de techniek in de duinen niet direct logisch is omdat er weinig landbouwactiviteiten zijn en zoetwater aanvoer lastig is. Hier zou eerder ondiepe infiltratie met een diepere onttrekking voor de hand liggen, wat qua proces lijkt op KIS maar niet helemaal onder die noemer valt. In het agrarische gebied aan de voet van het duingebied is echter wel potentie voor KIS in zijn normale vorm. De kaart is vergelijkbaar met de kaart van Van Bakel et al. (2014), maar geeft meer detail door het gebruik van achtergrondkaarten met een kleinere schaal.

Kanskaart KIS

- Niet kansrijk
- Mogelijk kansrijk
- Kansrijk
- Zeer kansrijk
- Geen data



4.5 Ondergrondse waterberging onder afsluitende kleilaag

Ondergrondse waterberging onder een afsluitende kleilaag wordt toegepast in een zandige ondergrond, omdat daarin de doorlatendheid voldoende is voor het infiltreren en opslaan van water. Infiltratie vindt plaats in een brak of zout pakket, maar daarbij is het belangrijk dat de chlorideconcentratie van het grondwater in het pakket niet te hoog is, omdat dit ervoor kan zorgen dat het zoete water (te snel) opdrijft. Ook moet er een ondoorlatende laag bovenop het zandige pakket liggen, zodat onwenselijke effecten (zoals opbarsting, zetting of kwel) voorkomen worden. De stroomsnelheid van het grondwater moet niet te hoog zijn, om te voorkomen dat het geïnfilterde water wegstroomt, en er moet water beschikbaar zijn om te infiltreren. Van deze laatste twee factoren is echter geen goede informatie beschikbaar.

4.5.1 Overzicht factoren

Factoren:	Criteria en score:	Beschikbare kaart	Uitleg
Factor A: Voorkomen zandig pakket	In bereik 10 – 40 meter: 0: cumulatieve dikte < 5 m 1: cumulatieve dikte ≥ 5 m & < 15 m 2 :cumulatieve dikte ≥ 15 m	GeoTOP	Aanwezigheid van een laag met voldoende dikte en doorlatendheid voor infiltratie en opslag. Er moet voldoende doorlatendheid zijn om te kunnen infiltreren. Er mogen geen storende klei/veen lagen op deze diepte zijn, omdat de infiltratie dan niet goed verloopt.
Factor B: Chloride concentratie	Gemiddelde chlorideconcentratie op 6 – 40 m onder maaiveld: 0: Cl < 1 g/L of Cl ≥ 10 g/L 1: Cl ≥ 1 g/L & Cl < 10 g/L	FRESHM	Als het pakket al zoet is heeft infiltratie weinig zin, er is dan te weinig ruimte beschikbaar voor het zoete water. Het voorkomen van te zout water zal leiden tot opdrijving van de geïnjecteerde zoetwaterlens.
Factor C: Dikte ondiepe klei / veen lagen	Cumulatieve dikte klei in bovenste 5 m 0: ≤ 4 m 1: >4 m	GeoTOP	I.v.m. ongewenste effecten naar oppervlakte (opbarsting, zetting, verhoging kwel)
Overige factoren (niet in kaarten verwerkt):			
Factor D: horizontale stroomsnelheid	Horizontale stroming mag niet te groot zijn zodat zoetwater lens op zijn plaats blijft.	Niet beschikbaar	Niet te hoog: geïnjecteerde water mag niet wegstromen. Deze factor zou enige invloed kunnen hebben (maar niet groot) en is op basis van de landelijke kaarten gunstig op heel Schouwen-Duiveland. We beschikken niet over goed bruikbare data (met dichtheidsstroming) om dit te beschrijven, dus deze is niet meegenomen.
Factor E: beschikbaarheid zoet water	Zoet water moet beschikbaar zijn (oppervlakte water, afgekoppeld hemelwater, drainwater, etc)	Niet beschikbaar	Er moet in de winter zoet water beschikbaar zijn om te kunnen infiltreren.

4.5.2 Combineren factoren

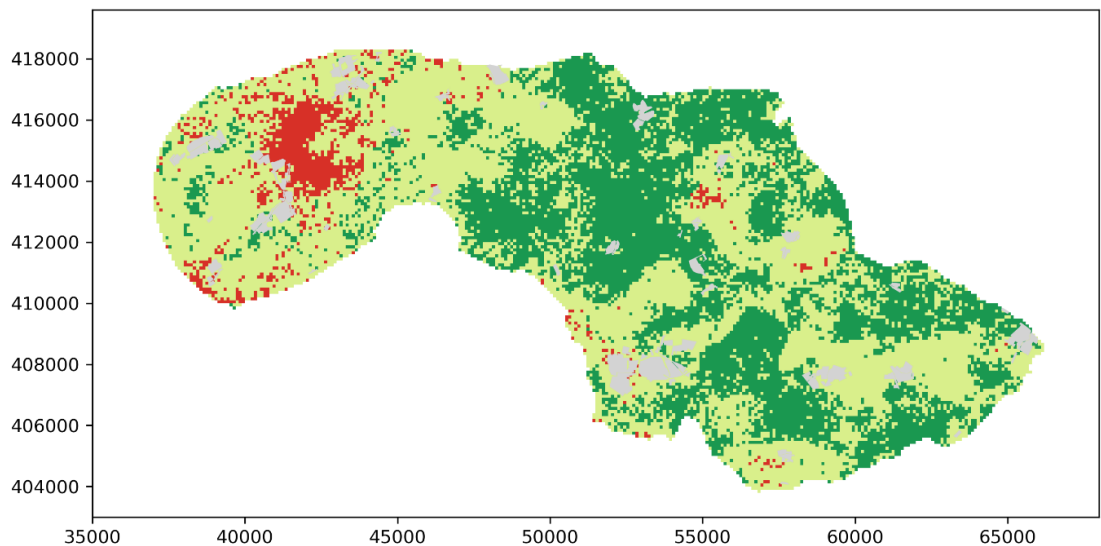
Ondergrondse waterberging onder een afsluitende laag is in principe mogelijk indien een zandig pakket aanwezig is (Factor A) afgedekt door een voldoende dikke klei- of veenlaag (Factor C). De techniek is wordt kansrijker indien het zandig pakket dikker is en er geen storende lagen voorkomen.

Geschiktheid waterconservering door stuwen	Criteria en score
Zeer Kansrijk	A=2 en B=1 en C=1
Kansrijk	A>0 en B=1 en C=1
Mogelijk kansrijk	A>0 en C=1
Niet kansrijk	Alle andere combinaties

4.5.3 Kaarten factoren

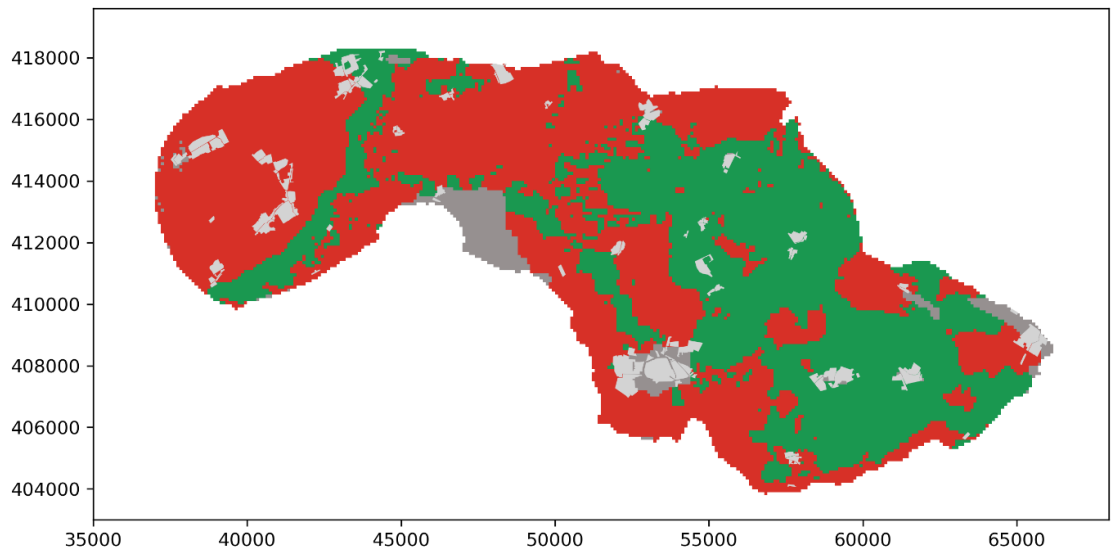
Kanskaart A - Ondergrondse Waterberging. Aanwezigheid zandig pakket op 10 - 40 m diepte

- < 5 m
- 5 - 15 m
- > 15 m



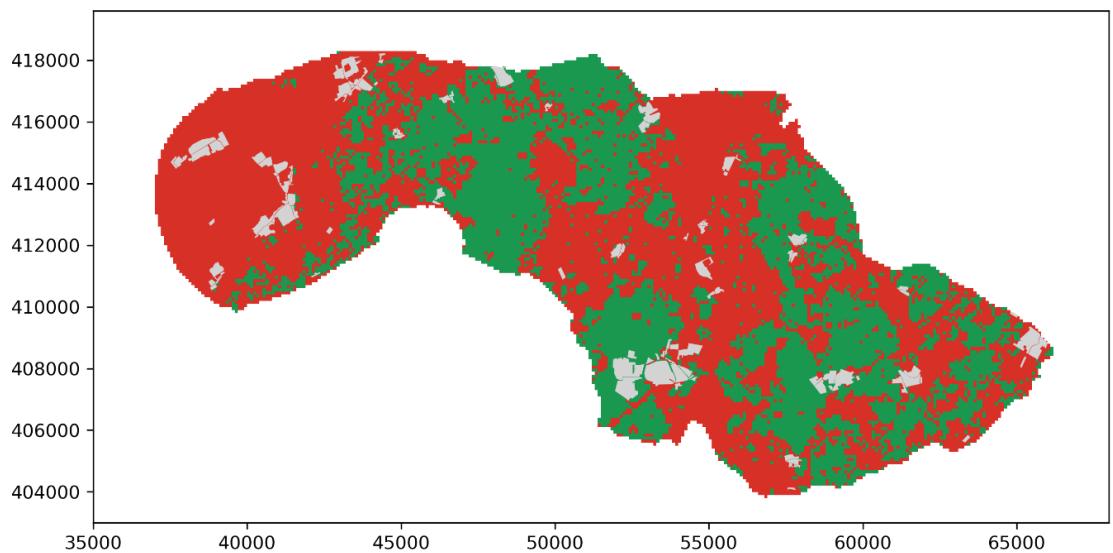
Kanskaart B - Ondergrondse Waterberging. Gemiddelde chloride concentratie op 6-40 m-mv

- > 10 g/L of < 1 g/L
- 1 - 10 g/L
- Ontbrekende data



Kanskaart C - Ondergrondse Waterberging. Cumulatieve dikte klei of veen in bovenste 5 m)

- < 4 m
- > 4 m



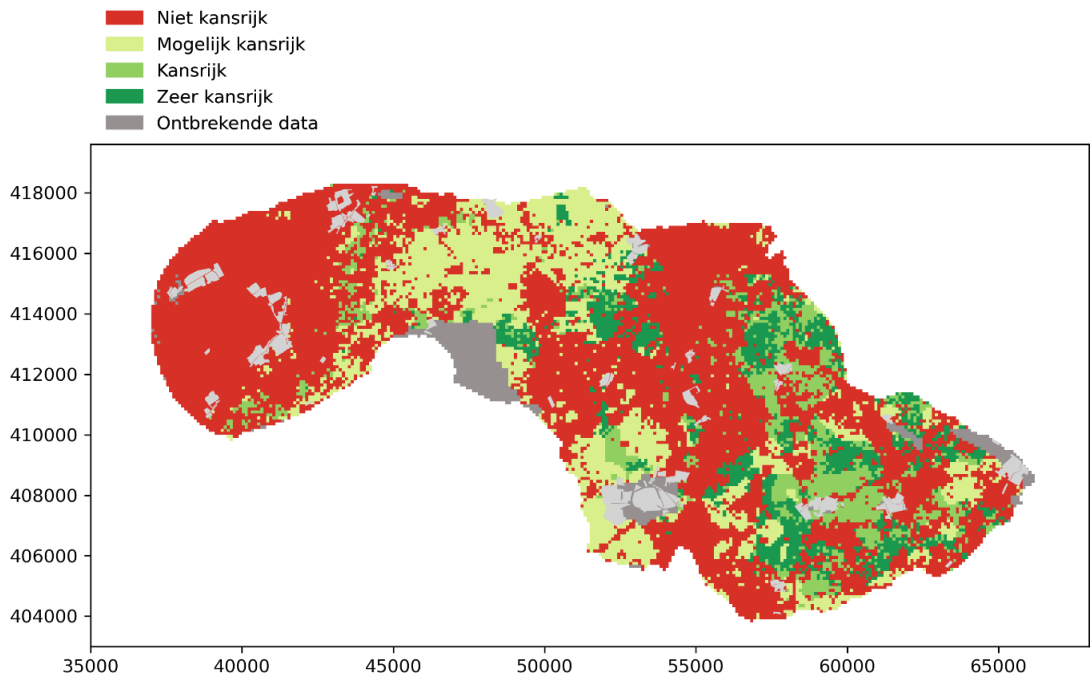
4.5.4

Potentiekaart Ondergrondse waterberging onder afsluitende kleilaag

De potentiekaart van ondergrondse waterberging onder een afsluitende kleilaag geeft aan dat de techniek mogelijk kansrijk is in een groot deel van de poelgronden doordat hier een zandpakket voorkomt welke is afgesloten met een dikke kleilaag. Op het oostelijk deel van het eiland is de techniek kansrijk tot zeer kansrijk doordat hier brak tot zoet grondwater voorkomt onder een afsluitende kleilaag.

In vergelijking met de potentiekaart van Van Bakel et al. (2014) is er een groter gebied mogelijk kansrijk in de poelgronden. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat inmiddels wordt aangenomen dat de techniek ook toepasbaar is bij het voorkomen van zout grondwater (gemiddelde chloride concentratie > 10 g/L op 6 – 40 m onder maaiveld).

Kanskaart Ondergrondse Waterberging



4.6 Freshmaker

Bij de Freshmaker is het belangrijk dat de infiltratie en onttrekking van water niet gehinderd wordt door ondoorlatende lagen. Ook moet er een zoetwaterlens aanwezig zijn om het water in te kunnen infiltreren. De Freshmaker is niet toepasbaar bij een te grote zoetwaterlens omdat het in dat geval niet goed mogelijk is om brak of zout water onder de lens af te vangen. Een ondoorlatende laag onder het systeem is extra gunstig, omdat de opkegeling van zout water tegengegaan wordt. De stroomsnelheid van het grondwater moet niet te hoog zijn, om te voorkomen dat het geïnfilterde water wegstroomt. Door het lokale systeem met een relatief kleine bel is de Freshmaker hier gevoelig voor. Daarnaast moet water beschikbaar zijn om te infiltreren. Van deze laatste twee factoren is geen bruikbare informatie beschikbaar.

4.6.1 Overzicht factoren

Factor	Criteria & score	Beschikbare kaart	Uitleg
Factor A: Aanwezigheid klei/veen tussen 5 – 20 m diepte	0: cumulatieve dikte > 3 m 1: cumulatieve dikte ≤ 3 m	GeoTOP	Er mogen geen storende klei- of veenlagen op deze diepte zijn, omdat de infiltratie dan niet goed verloopt.
Factor B: Klei- of veenlaag op 20 – 30 m diepte.	0: klei of veenlaag niet aanwezig 1: klei of veenlaag aanwezig	GeoTOP	Hier is een ondoorlatende laag gunstig, want opkegeling van zout water wordt tegengegaan. Let op dat hier de aanwezigheid van 1 GeoTOP-laag (0.5m) klei/veen al meetelt.
Factor C: diepte zoet-zout grensvlak	0: diep grensvlak (>15m) 1: ondiep grensvlak (< 3m) 2: gemiddeld diep grensvlak (3-15 m)	FRESHEM	Dit criterium beschrijft of er een zoetwaterlens aanwezig is (> 3m), maar ook of het niet al een volledig zoet gebied is (> 15 m) en een horizontale onttrekkingsput in het brakke water niet mogelijk is.
Overige factoren (niet in kaarten verwerkt):			
Factor D: horizontale stroomsnelheid	Horizontale stroming mag niet te groot zijn zodat zoetwater lens op zijn plaats blijft.	Niet beschikbaar	Deze factor zou enige invloed kunnen hebben en is op basis van landelijke kaarten gunstig op heel Schouwen-Duiveland. We beschikken niet over goed bruikbare data met meer detail (en met dichtheidsstroming), dus deze is niet in de kaarten meegenomen.
Factor E: beschikbaarheid zoet water	Zoet water moet beschikbaar zijn (oppervlakte water, afgekoppeld hemelwater, drainwater, etc)	Niet beschikbaar.	Er moet in de winter zoet water beschikbaar zijn om te kunnen infiltreren.

4.6.2 Combineren factoren

De factoren verschillen deels met de factoren uit de studie van Van Bakel et al. (2014). Doorslaggevende factoren in deze eerdere landelijke studie waren de cumulatieve dikte van klei en veen tot een diepte van 20 m (op basis van DINO, NL-3D en REGIS) en de ligging in 'zout gebied' (brak-zout grensvlak kaart TNO DinoLoket op < 25 m diepte). Deze laatste factor was op heel Schouwen-Duiveland 'gunstig', m.u.v. een deel van het duingebied. Factoren die in Van Bakel et al. (2014) de kansrijkheid verder vergrootte waren 'kleilaag in traject 20-40 m-mv' (uit REGIS), 'infiltratie' en 'horizontale stroomsnelheid' (beide uit NHI). De factor 'infiltratie' werd gebruikt om de aanwezigheid van een zoetwaterlens van 3 tot 15 m dikte aan te geven. De horizontale stroomsnelheid was op nagenoeg heel Schouwen-Duiveland 'gunstig'. In de nieuwe potentiekaarten zijn nieuwere databronnen gebruikt met een fijnere resolutie. Voor de ondergrond is nu GeoTOP gebruikt en voor het zoet-zout grensvlak FRESHEM.

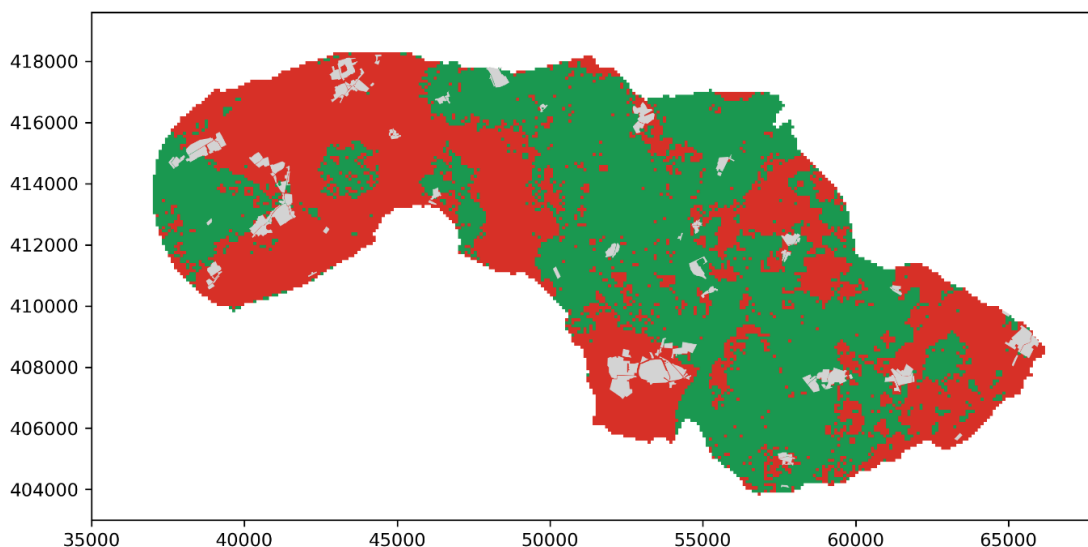
De Freshmaker is alleen toepasbaar als er een geschikt zandpakket aanwezig is (Factor A) en brak of zout water op relatief kleine diepte (Factor C). De techniek wordt kansrijker als een storende laag opkegeling van brak of zout water vanuit diepere pakketten verhinderd (Factor B).

Geschiktheid Freshmaker	Criteria en score
Zeer Kansrijk	Als A=1 en B=1 en C=2
Kansrijk	Als A=1 en C=2
Mogelijk kansrijk	Als A=1 en C=1
Niet kansrijk	Alle andere combinaties

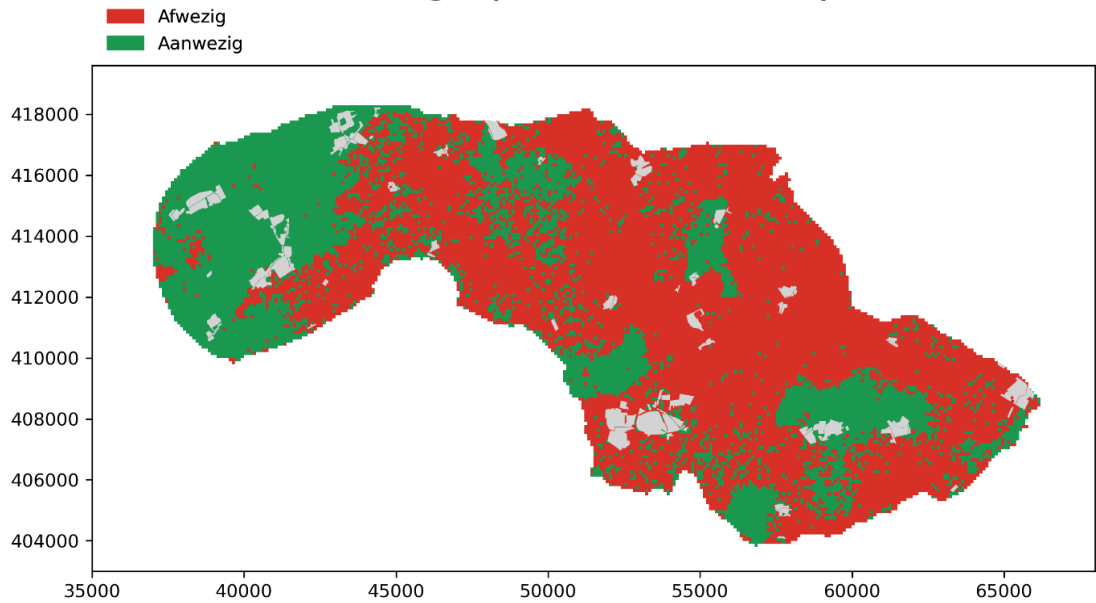
4.6.3 Kaarten factoren

Kanskaart A - Freshmaker. Aanwezigheid klei/veen op 5 - 20 m diepte

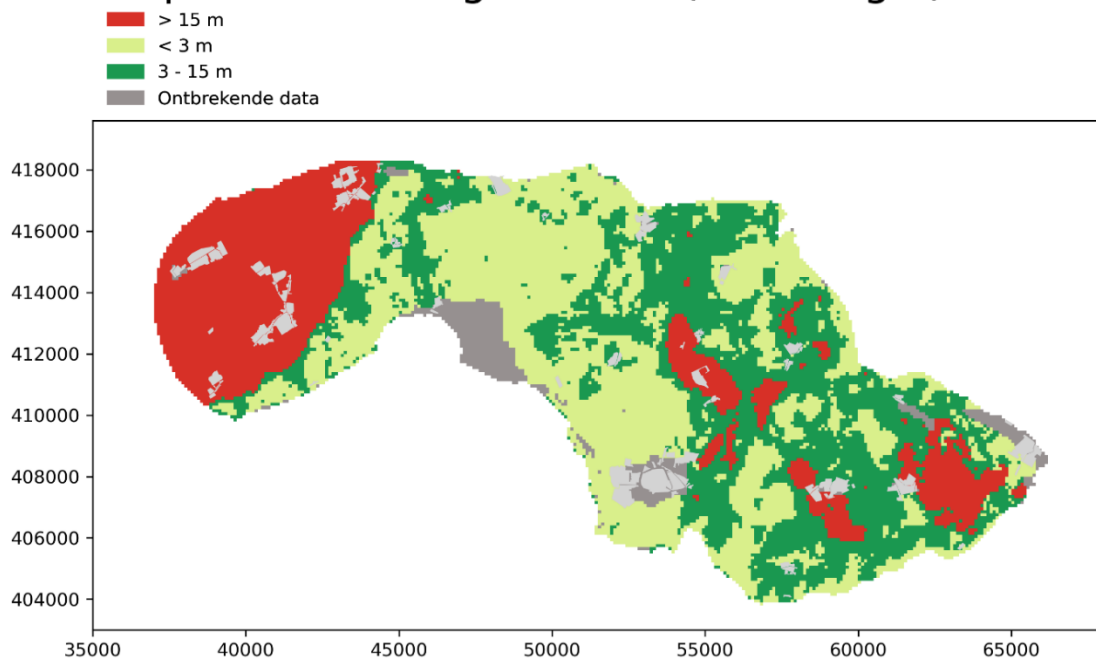
■ Cumulatieve dikte > 3 m
■ Cumulatieve dikte < 3 m



Kanskaart B - Freshmaker. Klei- of veenlaag op 20 - 30 m diepte



Kanskaart C - Freshmaker. Diepte zoet-zout grensvlak (1500 mg/L)



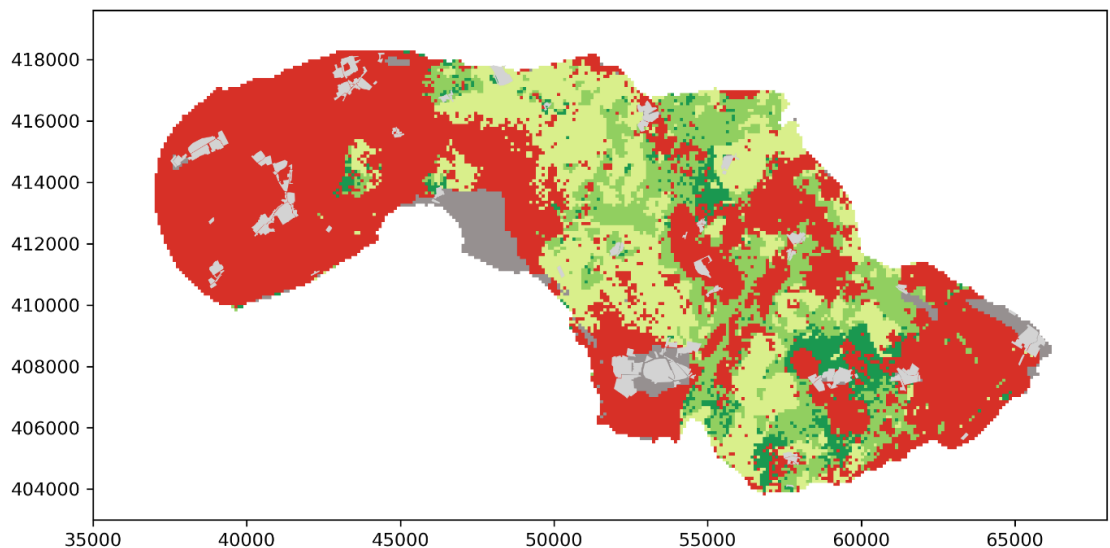
4.6.4 Potentiekaart Freshmaker

De Freshmaker is kansrijk op een groot deel van Schouwen-Duiveland. Zowel op een deel van de kreekruggen, bijvoorbeeld langs de randen waar de zoetwaterlens niet al te groot is, en op een deel van de poelgronden waar niet teveel storende lagen voorkomen.

De potentiekaart van de Freshmaker verschilt behoorlijk van de potentiekaart in het GO-FRESH rapport (Oude Essink et al., 2018) en het FWOO rapport (Van Bakel et al., 2014). In deze projecten werd landelijke informatie uit REGIS en NL-3D gebruikt voor data over de ondergrond terwijl in de huidige studie GeoTOP is gebruikt. Ten opzichte van DINO/NL-3D/REGIS geeft GeoTOP meer storende lagen in het westen van het eiland die de toepasbaarheid van de Freshmaker verhinderen. Verder is de aanwezigheid van een zout gebied in de huidige studie gebaseerd op FRESHEM data, terwijl in de oude studies hiervoor alleen een globale schatting van de locatie van het brak-zout grensvlak beschikbaar was.

Kanskaart Freshmaker

- Niet kansrijk
- Mogelijk kansrijk
- Kansrijk
- Zeer kansrijk
- Ontbrekende data



4.7 Potentiekaart gecombineerd

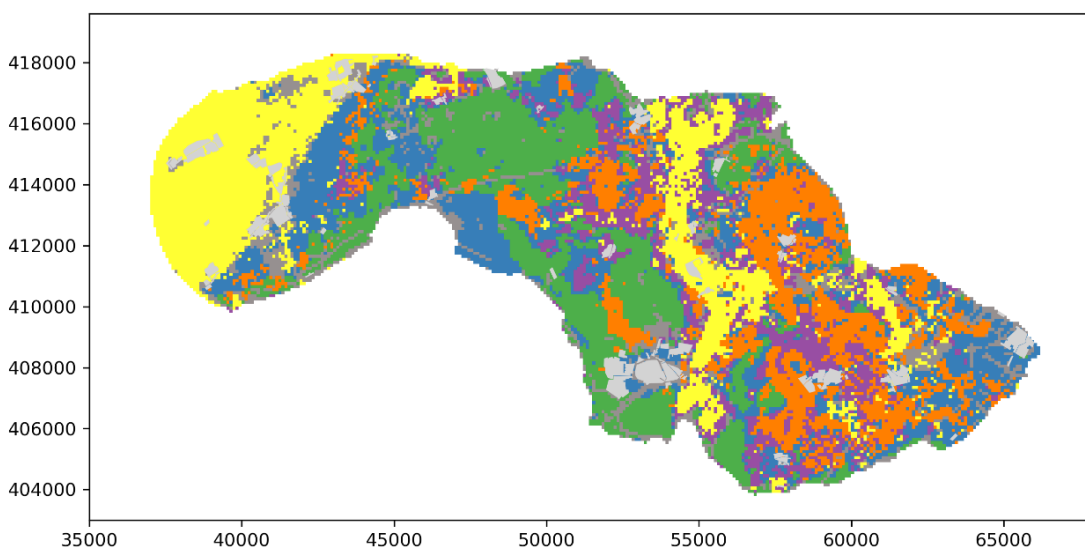
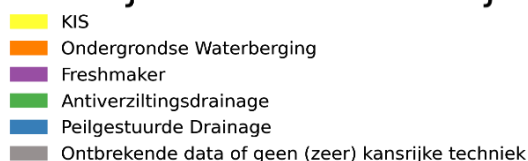
De potentiekaarten van de verschillende technieken kunnen worden gecombineerd om een kaart te maken die per locatie de meest kansrijke techniek geeft. Hiervoor zijn de volgende aannames gedaan:

1. “Zeer kansrijk” > “kansrijk”,
2. Bij gelijke geschiktheid: Kreekrug Infiltratie Systeem > Freshmaker > ondergrondse waterberging > anti-verziltingsdrainage,
3. Peilgestuurde drainage alleen op locaties waar geen van de andere technieken “kansrijk” of “zeer kansrijk” is.

De volgorde onder 2 is gemaakt op basis van enerzijds de mogelijkheid om een zoetwatervoorraad aan te leggen om uit te kunnen onttrekken (Kreekrug Infiltratie Systeem, Freshmaker, ondergrondse waterberging), en anderzijds op de complexiteit en investeringskosten die nodig zijn (over het algemeen lager bij ondiepe infiltratie).

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.

Kansrijke & zeer kansrijke maatregelen



5 Beslisboom technieken

Op basis van de factoren en criteria uit Hoofdstuk 4 is een beslisschema gemaakt om voor een perceel tot de meest geschikte techniek uit Hoofdstuk 3 te komen. Deze technieken zijn antiverziltingsdrainage, peilgestuurde drainage, kreekrug infiltratie systeem, Freshmaker en ondergrondse waterberging onder een afsluitende kleilaag. Een belangrijk onderscheid wordt gemaakt tussen water vasthouden (versterken regenwaterlenzen; Hoofdstuk 3.1) en water opslaan (vergroten zoetwaterlens; Hoofdstuk 3.2).

Informatie over de volgende factoren is nodig:

Gegevens	Bron
Beschikbaarheid zoet water t.b.v. infiltratie	Veldmetingen (kwantiteit en kwaliteit hemelwater, restwater, oppervlakte- en/of drainwater)
Diepte zoet-zout grensvlak	FRESHEM Zeeland, veldmetingen (EC-sonderingen, boorgatmetingen, prikstok, EM-metingen)
Bodemopbouw bovenste 5 meter	GeoTOP, veldmetingen (boringen)
Bodemopbouw tot 40 meter diepte	GeoTOP, veldmetingen (boringen, sonderingen)
Grondwaterstanden	Veldmetingen (peilbuizen, boringen)

Dit schema kan een adviseur doorlopen om naast de potentiekaart ook via beschikbare gegevens (o.a. GeoTOP en FRESHEM) een eerste indruk te krijgen van de meest haalbare techniek. Vervolgens moet de haalbaarheid verder worden onderzocht in een haalbaarheidsstudie waarbij ook lokale veldmetingen worden gebruikt.

6 Conclusies

De ondergrond is een belangrijke schakel in het watersysteem en kan een belangrijke bijdrage leveren in het tegengaan van zoetwatertekorten op Schouwen-Duiveland. Enerzijds kunnen regenwaterlenzen worden versterkt middels drainageoplossingen als peilgestuurde drainage en antiverziltingsdrainage-Drains2Buffer en het vasthouden van water met stuwen. Hierdoor wordt het risico op droogte- en zoutschade aan gewassen verkleind. Anderzijds kan water in de ondergrond worden geïnfiltrerd en opgeslagen om later te worden opgepompt. Hiervoor zijn de technieken Kreekrug Infiltratie Systeem, ondergrondse waterberging onder een afsluitende kleilaag en Freshmaker te gebruiken. De verschillende technieken hebben ieder voor- en nadelen, vereisen verschillende investeringen en de toepassing is afhankelijk van verschillende factoren in het bodem- en watersysteem.

Voor de technieken zijn de verschillende bepalende factoren beschreven in tabellen en verwerkt in potentiekaarten. Deze kaarten laten zien dat afhankelijk van de ondergrond verschillende technieken kansrijk zijn op verschillende locaties op het eiland. Zo is op kreekruggen ondiepe infiltratie middels het Kreekrug Infiltratie Systeem de meest kansrijke maatregel. Op de centrale poelgronden zijn met name drainageoplossingen kansrijk. In de polders aan de oostkant van het eiland is ondergrondse waterberging onder een afsluitende kleilaag of de Freshmaker op veel locaties kansrijk. De gebruikte gegevens zijn regionale en modelgegevens, het is daarom belangrijk om altijd ook lokale perceelmetingen te doen om deze in het veld te valideren.

De tabellen en potentiekaarten beschreven in dit rapport geven informatie aan agrarisch ondernemers, adviseurs en uitvoerders om voor een locatie kansrijke technieken te bepalen. Om dit proces te vergemakkelijken is een besliskader opgesteld waarbij een gebruiker langs de meest belangrijke factoren wordt geleid om te eindigen bij de meest kansrijke techniek vanuit het bodem- en watersysteem. Bedrijfsvoering aspecten en kosten/baten zijn hierin nog niet meegenomen en dienen afzonderlijk te worden bepaald.

De stappen en methodiek van toepassen en opschalen wordt binnen het project verder ontwikkeld in een Quickscan-Haalbaarheidsstudie structuur. Een tweede deelrapportage beschrijft deze methodiek en de ervaringen die in het project zijn opgedaan.

7 Referenties

Van Baaren E.S., Oude Essink G.H.P., Janssen G.M.C.M., de Louw P.G.B., Heerdink R., Goes B. (2016) Verzoeting en verzilting van het grondwater in de Provincie Zeeland; Regionaal 3D model voor zoet-zout grondwater, Deltares rapport, 86 p.

Van Baaren, E., Delsman, J., Karaoulis, M., Pauw, P., Vermaas, T., Bootsma, H., de Louw, P., Oude Essink, G., Dabekaussen, W., Gunnink, J., Dubbelaar, W., Menkovic, A., Siemon, B., Steuer, A., Meyer U. (2018) FRESHM Zeeland. Technical report. Deltares.

Van Bakel, P.J.T., van den Eertwegh, G.A.P.H., Massop, H., Brandsma J. (2013) KlimaatAdaptieve Drainage. Landelijke geschiktheid van conventionele, samengestelde peilgestuurde en klimaatadaptieve drainage. FutureWater Rapport 118.

Van Bakel, J., de Louw, P., Massop, H., Stuyt, L., Tolk, L., Velstra, J., Hoogvliet, M., Nikkels, M. (2014) Methode voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten: 'Fresh Water Options Optimizer'. KvK rapportnummer: KvK118/2014, Stowa rapportnummer 2014-16.

Burger, S., A. Oord, B. de la Loma Gonzalez, M. Waterloo, A. van der Heijden, J. Velstra, Landheer J. (2019) Spaarwater 2 - Versterken zoetwaterlens: anti verziltingsdrainage. Technische rapportage 2016-2018. Achtergrondinformatie horende bij hoofdrapport.

Deltafact Regenwaterlenzen (2017)
<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/regenwaterlenzen> Laatst bezocht: 05-10-2021.

Deltafact Anti-Verziltingsdrainage (2019)
<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/anti-verziltingsdrainage> Laatst bezocht: 05-10-2021.

Deltafact Ondergrondse Waterberging
<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/verzilting/ondergrondse-waterberging> Laatst bezocht: 05-10-2021.

Deltafact Regelbare Drainage
<https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/regelbare-drainage> Laatst bezocht: 05-10-2021.

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.

Van der Gaast, J. (2019) Zuinig met zoet water kan ook leiden tot schade. V-focus nummer 3, juni 2019.

Hulshof, M., de La Loma Gonzalez, B., van Meijeren, S., Velstra, J., Waterloo, M., de Wildt, S. (2019) Spaarwater Zuinig met zoetwater: Druppel- en subirrigatie. Technische rapportage 2016-2018. Achtergrondinformatie behorende bij hoofdrapport

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.

KlimaatAdaptieve Drainage. Landelijke geschiktheid van conventionele, samengestelde peilgestuurde en klimaatadaptieve drainage. FutureWater Rapport 118:
https://www.futurewater.nl/wp-content/uploads/2013/04/KAD_WP3_landelijke_geschiktheid_20130207.pdf

De Louw, P.G.B. (2013). Saline seepage in deltaic areas. Preferential groundwater discharge through boils and interactions between thin rainwater lenses and upward saline seepage. Vrije Universiteit Amsterdam, Academisch proefschrift, ISBN/EAN 9789461085429.

De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., Eeman, S., van Baaren, E.S., Vermue, E., Delsman, J.R., Pauw, P.S., Siemon, B., Gunnink, J.L., Post, V.E.A. (2015) Dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden. Landschap 32, 5–15.

De Louw, P.G.B., van Berchum, A., Buma, J., Doornenbal, P., Lorwa, M., Oude Essink, G., Pauw, P., Provoost, Y., Visser, M. (2016). A self-flowing seepage system to protect a freshwater lens from local sea level rise. Pages 67-70 from: Werner, A.D. (ed.) (2016), Proceedings of the 24th Salt Water Intrusion Meeting and the 4th Asia-Pacific Coastal Aquifer Management Meeting, 4-8 July, 2016, Cairns, Australia.

De Louw, P., van Baaren, E., Kaandorp, V., Galvis Rodriguez, S., Dupon, E., Huits, D., van Camp, M., Walraevens K., Vandenbehode, A. (2019) TOPSOIL - GO-FRESH Vlaanderen: Potenties om de zoetwaterbeschikbaarheid te verbeteren.

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

Oord, A., Burger, S., de la Loma Gomez, B., Waterloo, M., Velstra, J., Landheer, J. (2019) Spaarwater 2: Eigen watervoorziening: Ondergrondse opslag perceelseigen water Technische rapportage 2016-2018 Achtergrondinformatie behorende bij hoofdrapport.

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., Huang, K., Groen, M.M.A., 2018. GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening; Rendabel en duurzaam watergebruik in een zilte omgeving.

Spaarwater, 2018: Rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik en waterbeheer in de verziltende Waddenregio. Hoofdrapport 2016-2018

SUBSOL-KWR: <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/ondergrondse-wateropslag-in-aquifers-als-bron-voor-irrigatie-kostentechnisch-interessant>

Schipper, P.N.M., M. Heinen, P. Jansen, L. Stuyt, Dik, P. (2015). Praktijkproef Regelbare Drainage proefbedrijf Rusthoeve 2010-2014; Eindverslag praktijkproef naar de effecten van regelbare en verdiept aangelegde drains op klei in Zeeland. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2639.

Stuyt, L.C.P.M. (2013) Regelbare drainage als schakel in toekomstbestendig waterbeheer: Bundeling van resultaten van onderzoek, ervaringen en indrukken, opgedaan in binnen- en buitenland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2370, 488 blz.; 269 fig.; 40 tab.

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

De Wit, J.A, Huijgevoort, M.H.J., van Deijl, D., van den Eertwegh, G.A.P.H., Bartholomeus, R.P. (2021). Regelbare drainage met subirrigatie en slimme stuwen: Veldproeven en modelanalyses in het zandgebied van Nederland voor een meer robuuste waterhuishouding op lokale en regionale schaal. KWR 2021.028, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

ZLTO (2019) J. Bal, Stappenplan beschikbaarheid en buffering zoet water in de bodem. ZLTO Afdelingen Zeeland, winterbijeenkomsten 2018-2019

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., van Dooren, T., Ros, S.E.M. (2017a). Improved ASR-Coastal Reference sites. Improved ASR-Coastal reference sites in Nootdorp an Westland, the Netherlands (TRL8). SubSol – D1.6. <https://library.kwrwater.nl/publication/56106965/>

Zuurbier, K.G., Stuyfzand, P.J., Hinsby, K. (2017b) Completed demonstration of the use of extensively treated wastewater for ASR Coastal (TRL7) – SubSol – D2.5. <https://library.kwrwater.nl/publication/55579819/>

Zuurbier, K.G., Janmaat, P., Raat, K.J., Ros, S.E.M., ter Mors, G. (2017c) Waterhergebruik en -berging met aquifer storage and recovery (ASR) op tuinbouwlocatie Nieuw-Prinsenland – H2O-Online 7 november 2017.

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.

Zuurbier, K.G., Raat, K.J. (2018). Ondergrondse opslag vindt steeds meer toepassingen in Nederlandse Waterbeheer. H2O 51(2018)6-7, p.34-37.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl