

Mogelijkheden voor ondergrondse waterberging in de omgeving van 's-Heerenhoek

Verkenning uitbreiding zoete grondwatervoorraden door combinatie van zoutwateronttrekking en zoetwaterinjectie



Eindrapport

Auteur:	Susanne Bijvoets – 61316
Opleiding:	Aquatische Ecotechnologie
School:	HZ University of Applied Sciences
Locatie:	Middelburg, Nederland
Bedrijfsmentor:	Vincent Klap
Periode:	1 september 2015 tot 7 januari 2016
Plaats en datum:	08-01-2016, Middelburg
Versie:	Eindversie

Voorwoord:

De reden waarom ik, Susanne Bijvoets, de opleiding Aquatische Ecotechnologie ben gaan volgen is omdat ik geïnteresseerd ben maatschappelijke vraagstukken omtrent water. Zo heeft mijn zoektocht voor een afstudeeronderwerp mij geleid naar de Provincie Zeeland. De Provincie speelt een leidende rol in het onderzoeken van zoetwaterbeschikbaarheid binnen Zeeland. Zodoende heb ik bij mogen dragen aan het onderzoek naar geschikte locaties voor ondergrondse zoetwateropslag, een maatregel die de klimaatbestendigheid van Zeeland vergroot.

Tot mijn verrassing ben ik in dit onderzoek meer bezig geweest met het verwerken van bestaande gegevens dan met mijn eigen meetresultaten. Hierbij heb ik overigens veel hulp gehad van anderen. Ik wil hiervoor de volgende personen bedanken:

Allereerst mijn begeleiders van de Provincie Zeeland, Vincent Klap en Marloes van Tilburg, die mij intensief begeleid hebben in het uitdenken van concepten en opbouwende kritiek hebben gegeven op mijn werk. Ook André van de Straat, deskundige op het gebied van hydrologie, werkzaam bij de Provincie heeft veel inhoudelijke vragen beantwoord. Voor de verwerking van geografische informatie heb ik binnen de GIS afdeling van de Provincie hulp gehad van Danny Hafkenscheidt en collega's, en Marco van Antwerpen. Voor de vraagstukken waar ik binnen de Provincie geen antwoord op kon vinden heb ik hulp gehad van Koen Zuurbier van het KWR.

Abstract

In Zeeland is het grondwater brak tot zout door de invloed van het omringende zeewater. De voornaamste bron van zoet water is aanwezig in de vorm van regenwaterlenzen die bovenop het zoute grondwater drijven. Voldoende zoet water is van belang voor de teelt van gewassen. De aanvulling van deze regenwaterlenzen vindt plaats door neerslag. De hogere temperaturen die het gevolg zijn van klimaatverandering zullen de verdamping versterken waarmee er meer neerslag nodig is om de regenwaterlenzen op dikte te houden. Ook is het aannemelijk dat er langere periodes van droogte zullen optreden en er meer behoefte ontstaat aan voorraden om zulke periodes te overbruggen.

Om zoet water beschikbaar te houden in Zeeland is een techniek bestudeerd met de naam Freshmaker, waarmee zoet water geforceerd in de ondergrond kan worden opgeslagen. De techniek stelt specifieke eisen aan de omgeving. Zo moet de ondergrond geschikt zijn en ook moet er voldoende zoet water beschikbaar zijn om te kunnen opslaan. Nadat de techniek op bedrijfsniveau toepasbaar is gebleken, is het de vraag of hij ook op gebiedsschaal kan worden aangelegd? Het onderzoek waarvan de resultaten staan beschreven in dit rapport is een verkenning naar de geschiktheid van het gebied ten zuiden van 's-Heerenhoek (Zeeland) voor de aanleg van een dergelijke gebiedsfreshmaker.

De voorwaarden t.a.v. de ondergrond hebben betrekking op de geschiktheid als opslagmedium en de aanwezigheid van zout grondwater op de juiste diepte. Het zoete water dat geïnjecteerd wordt moet daarnaast voldoende zoet zijn, omdat het anders geen toegevoegde waarde heeft voor latere toepassing. De geschiktheid van de ondergrond is in kaart gebracht door enkele lithologische parameters met elkaar te combineren en de kwaliteit (zoetheid) van het beschikbare oppervlaktewater is in het veld gemeten. De kwantitatieve waterbeschikbaarheid is geraamd aan de hand van neerslaggegevens van het KNMI.

Het verrichte onderzoek wijst uit dat het bestudeerde gebied mogelijkheden biedt voor de aanleg van een Freshmaker, hoewel de geschiktheid ruimtelijk varieert en de beschikbaarheid van kwalitatief acceptabel water gelimiteerd is. Niettemin lijkt het gebied in geohydrologische zin voldoende kansrijk om de mogelijkheden voor aanleg van een Freshmaker nader te verkennen.

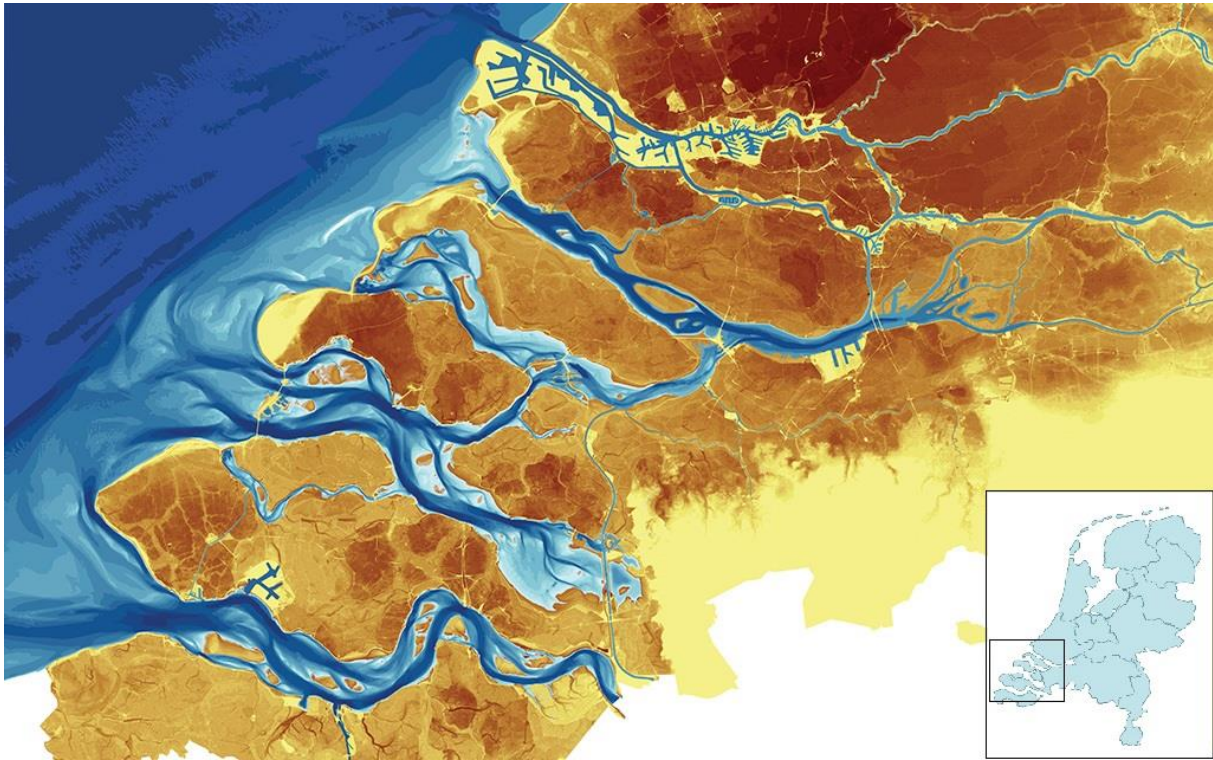
Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Geologische ontstaansgeschiedenis	3
1.2	Hydrologie	5
1.3	Ondergrondse wateropslag	9
1.4	Waterkwaliteit en kwantiteit.....	13
1.5	Doelstelling.....	14
2	Methode.....	15
2.1	Zoekgebied	15
2.2	Waterkwaliteit en kwantiteit.....	18
2.2.1	Chloridegehalte sloten.....	18
2.2.2	Respons chloride in sloot op neerslag.....	19
2.2.3	Debiet sloten volgens stroomsnelheidsmeting	19
2.2.4	Water beschikbaar voor de Freshmaker volgens neerslagdata.....	21
2.2.5	Vergelijking waterbeschikbaarheid en watervraag	22
2.3	Geohydrologische geschiktheid.....	23
2.3.1	Beschouwing methodiek Hoogvliet et al.	23
3	Resultaten	27
3.1	Waterkwaliteit en -kwantiteit	27
3.1.1	Chlorideconcentraties, neerslag en slootdebieten	27
3.1.2	Water beschikbaar voor injectie volgens neerslagdata	33
3.2	Geohydrologische geschiktheid.....	34
3.2.1	Brak-zoutgrensvlak	34
3.2.2	Geen storende lagen in Freshmakertraject	35
3.2.3	Scorekaart afsluitende kleilaag.....	36
3.2.4	Kansenkaart Freshmaker	37
3.3	Watervraag.....	40
4	Conclusie en discussie.....	41
4.1	Waterkwaliteit en kwantiteit.....	41
4.1.1	Veldmeting chloride:.....	41
4.1.2	Veldmeting debiet:	43
4.1.3	Neerslagoverschot	43
4.1.4	Bergingscapaciteit	43
4.1.5	Watervraag	44
4.2	Geohydrologische geschiktheid.....	44

4.3 Eindconclusie en aanbeveling	46
Bibliografie.....	47
Appendix I.....	48

1 Inleiding

Zeeland is onderdeel van het grootste deltagebied van Europa, de Zuidwestelijke Delta. In het deltagebied is het grondwater brak tot zout door de invloed van het omringende zeewater. Hier bovenop drijft een laag zoet water die voor aanvulling afhankelijk is van neerslag. Grote delen van Zeeland kennen geen aanvoer van extern zoet water, waardoor ze voor hun zoetwatervoorziening afhankelijk zijn van neerslag.



Figuur 1 Hoogtekaart van de Zuidwestelijke Delta. Hoe lichter de landtint, hoe hoger het land is gelegen.

In het kader van een afstudeeropdracht aan de Hogeschool Zeeland is de Freshmakertechniek bestudeerd, waarmee zoet water in de ondergrond kan worden opgeslagen. De hoop van beleidsmakers en gebruikers in de regio is dat deze techniek er toe kan bijdragen dat Zeeland ook in de toekomst over voldoende zoet water voor met name de landbouw kan beschikken. Dat is niet vanzelfsprekend in een deltagebied in tijden van klimaatverandering. Met het oog daarop is klimaatbestendigheid, om periodes van zoetwaterschaarste te overbruggen, belangrijk voor de landbouw.

Tot nu toe is de Freshmaker met bevredigend resultaat beproefd op bedrijfsschaal. Hij stelt een aantal voorwaarden aan de ondergrond en het beschikbare water voor infiltratie. In dit onderzoek is geprobeerd deze geohydrologische voorwaarden op een groter schaalniveau scherper te definiëren, namelijk voor een gebied van ongeveer 600 ha ten zuiden van 's-Heerenhoek (Zeeland). Uiteraard is niet alleen de ondergrond van belang, maar is evenzeer de beschikbaarheid van kwalitatief goed zoet water een vereiste. Voor hetzelfde studiegebied is daarom de geschiktheid en beschikbaarheid van het te injecteren (sloot)water bepaald gedurende het najaar van 2015.

Leeswijzer:

Het vervolg van de inleiding is een introductie van het onderwerp en geeft uitleg over termen en concepten gerelateerd aan de Freshmaker. In het hoofdstuk Methode wordt uitgelegd hoe het onderzoek is opgezet en hoe de resultaten verkregen zijn. In het hoofdstuk Resultaten worden de resultaten en bevindingen gepresenteerd en beschreven. Tot slot is er een hoofdstuk met de conclusie en discussie, waarin de bevindingen op een rij worden gezet.

1.1 Geologische ontstaansgeschiedenis

Aan het eind van de laatste ijstijd, ongeveer 11.000 jaar geleden, stond de zeespiegel zo'n 120 meter lager dan nu. Wat we nu kennen als de Noordzee was toen een grote steppeachtige zandvlakte. Bij een sterke westenwind werd Noordzeezand meegevoerd waardoor het gebied dat nu Nederland is bedekt raakte met een meters dikke laag dekzand.



Figuur 2 Zuidelijke Noordzee tijdens de laatste ijstijd, lichtblauwe ijskappen, donkerblauw is zee en groen is land (geologievannederland.nl)

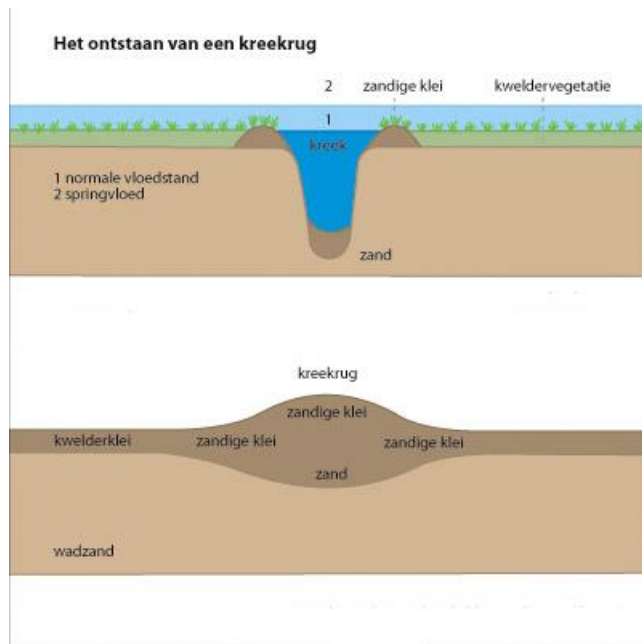
10.000 jaar geleden brak er een warmere periode aan. Door de opwarming van de aarde smolten de ijskappen en steeg de zeespiegel in rap tempo tot de stijging ongeveer 7.000 jaar geleden vertraagde. Hierdoor kregen andere processen de overhand. Ten westen van het huidige Zeeland vormde zich onder invloed van het getij een aantal strandwallen waardoor de zee het gebied niet meer kon binnendringen. Hierachter vormde zich een soort kustmoeras dat langzaam opslibde met zand en klei en waar op grote schaal veenvorming plaatsvond. Ongeveer 3500 jaar geleden was heel Zeeland bedekt met een dikke veenlaag.

Veenvorming:

De vorming van organisch materiaal, door plantengroei, gaat sneller dan de afbraak door bacteriën waardoor er een veenlaag ontstaat.

Het moerassige veengebied van Zeeland werd zo'n 2000 jaar geleden ontwaterd door de Romeinen door het graven van slootjes. Door de ontwatering klonk het veen in waardoor Zeeland lager kwam te liggen en de zee geleidelijk aan weer meer invloed kreeg. 350 na Chr. was vrijwel al het veen weggeslagen of bedekt met een dikke laag klei door overstromingen en het getij. Bijna heel Zeeland was in die tijd onbewoonbaar geworden. De eb- en vloedbeweging van de zee vormde in Zeeland grote getijdegeulen, schorren en kleinere kreken.

Schorren worden gevormd door de regelmatige afzetting van zeeklei door het getij. Het laagste punt van het schor is een kreek. Hier stroomt het water met elk getij doorheen. Na verloop van tijd is een schor zo hoog geworden dat bij een normale vloedstand het gebied niet meer overstroomt. De waterstroming in de kreken neemt af en het zwaarste sediment, het zand, sedimenteert in de kreekbedding. En omdat zand niet inklinkt komen deze kreken na verloop van (veel) tijd hoger te liggen dan het omringende land. Op grotere schaal vindt een vergelijkbaar proces op met grote kreken. Nadat deze gebieden in het verleden zijn ingepolderd, is het omringende land ingeklonken waardoor de verzande kreken nu als iets verhoogde kreekruigen in het landschap waarneembaar zijn.

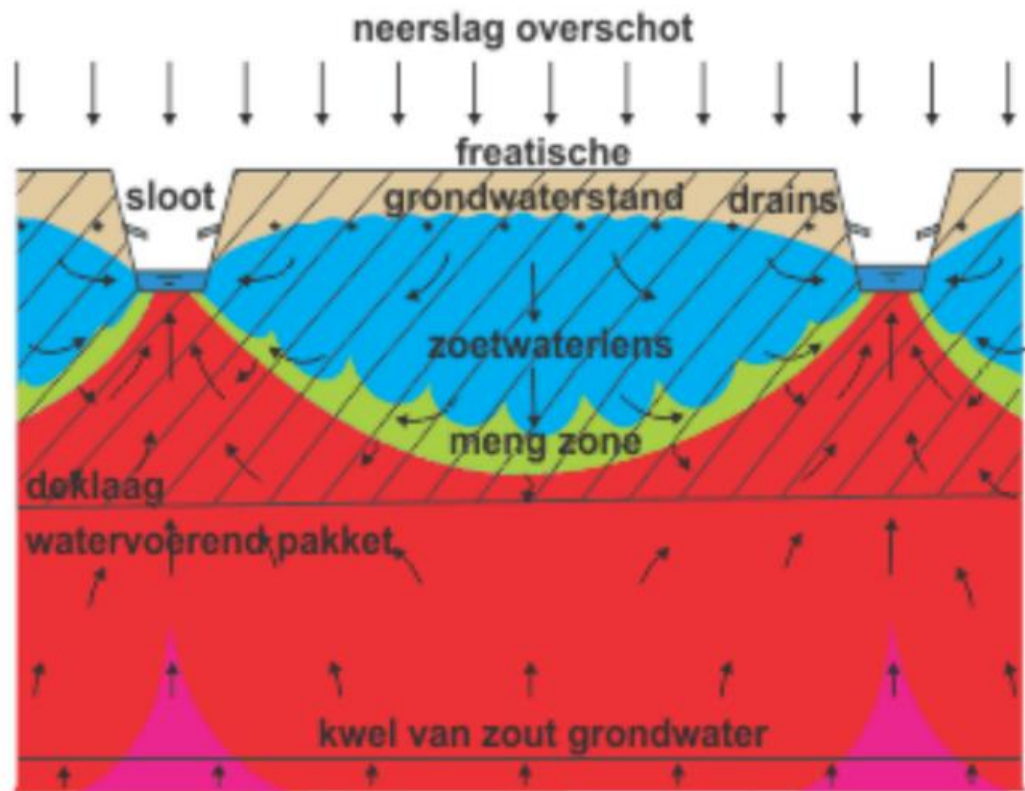


Figuur 3 Vorming van een kreekrug. Bij vloed stroomt het water door de kreek. Door de afzetting van zandige klei groeit de kwelder omhoog totdat deze niet meer overstroomt. Bij de ontginning en ontwatering van het land klinkt de zandige klei minder in dan de kwelderleij. Zo ontstaan de hoger gelegen kreekruigen in het landschap. (geologievannederland.nl)

De opslibbing van het land maakte bewoning geleidelijk aan weer mogelijk en rond het jaar 1250 was een aanzienlijk deel van het huidige Zeeland bewoond en zelfs bedijkt. In reactie op de vele overstromingen en dijkdoorbraken, zijn de dijken steeds steviger uitgevoerd en is meer land ingepolderd. Door die inpoldering en de actieve ontwatering door de mens bleef het land echter dalen, terwijl met stormvloed het zeeniveau steeg. Tot vandaag de dag daalt de bodem in delen van Zeeland (van den Akker, 2005). Het toenemende verschil tussen het hogere zeeniveau en lagere maaiveld geeft extra druk op het zoute grondwater binnendijs waardoor het op sommige plaatsen niet slechts omhoog stroomt, maar zelfs uit de bodem ontwijkt (de Louw, 2013). Men spreekt in dat geval van zoute kwel.

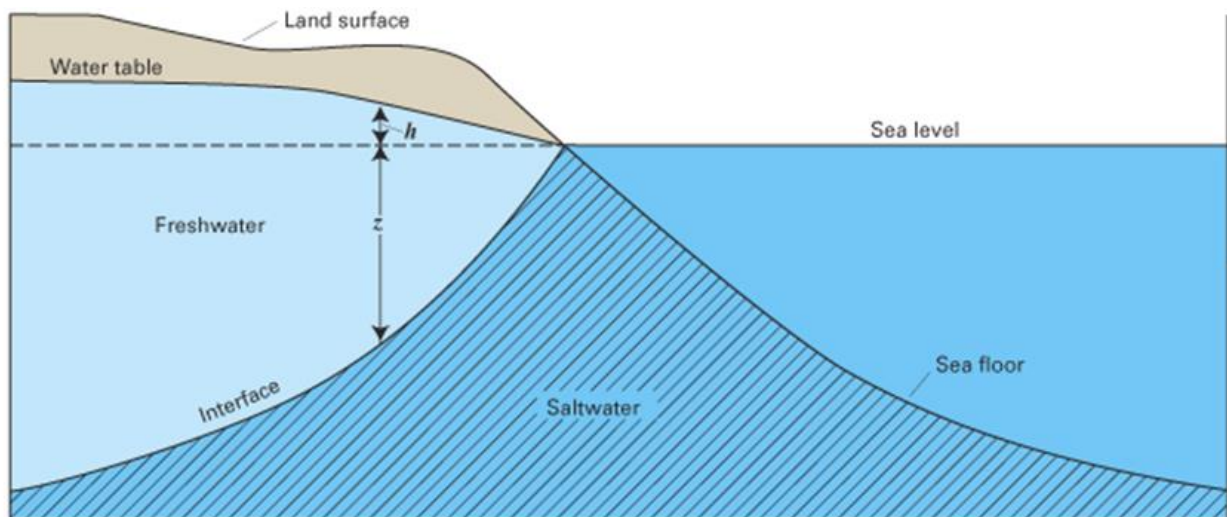
1.2 Hydrologie

De (zeker ook historische) invloed van de zee zorgt ervoor dat het overgrote deel van het grondwater in Zeeland zout is. Bovenop het zoute grondwater drijft meestal een laag zoet water die wordt gevoed door de neerslag. Zoet neerslagwater ‘drijft’ op het zoute water omdat zout water een hogere dichtheid heeft. Dit verhindert de menging van zoet en zout. De zoete laag wordt een regenwaterlens genoemd. De opwaartse stroom van zout grondwater, de zoute kwel, kan onder de sloten verder omhoog stromen, omdat er minder tegendruk is dan op plekken met een regenwaterlens.



Figuur 4 Aanvulling zoete regenwaterlens door neerslagoverschot in de winter. De opwaartse rode pijlen illustreren zoute kwel. In de zomer bij minder neerslag en meer evaporatie, krijgt het zoute water meer ruimte om omhoog te komen. De lens wordt dan dunner en de sloten worden zouter door een combinatie van kwel, minder aanvulling van neerslag en hogere verdamping. In de praktijk wordt 's zomers echter vaak het slootpeil verhoogd waardoor zoute kwel in de sloten wordt beperkt en ontwatering van het land wordt tegengegaan. (Hoogvliet, et al., 2014)

De dikte van de regenwaterlens is afhankelijk van de hoogte van het grondwater boven zeeniveau of het waterpeil binnen de polder en wordt beschreven door de Ghijben-Herzberg relatie (fig. 5). Doordat zoet en zout water moeilijk mengen, oefent de zoete laag druk uit op het onderliggende zoute water. De grootte van die druk wordt bepaald door het niveauverschil tussen het zoete grondwater en het bepalende omgevingswaterpeil (in de figuur het gemiddelde zeeniveau). Men spreekt van het piëzometrisch niveauverschil. Hoe groter dit verschil, hoe groter de uiteindelijke dikte van de regenwaterlens. Dit verklaart waarom in de laaggelegen gebieden (vaak onder zeeniveau) van Zeeland de zoete regenwaterlens zeer dun is en ondiep al zout grondwater te vinden is. Onder de kreekruggen vormen zich dikkere lenzen door de hogere ligging in het landschap en het goede infiltratiekarakter van de ondergrond. In het zandige pakket van een kreekrug kan regenwater makkelijker infiltreren dan in een slecht doorlatende kleilaag.



Figuur 5 Illustratie Ghyben-Herzberg relatie (wikipedia.org)

Ghyben-Herzberg relatie:

$$z = \frac{\rho_f}{(\rho_s - \rho_f)} h$$

ρ_f is de dichtheid van zoet water en ρ_s is de dichtheid van zout water

De dikte van de regenwaterlens boven zeeniveau is h

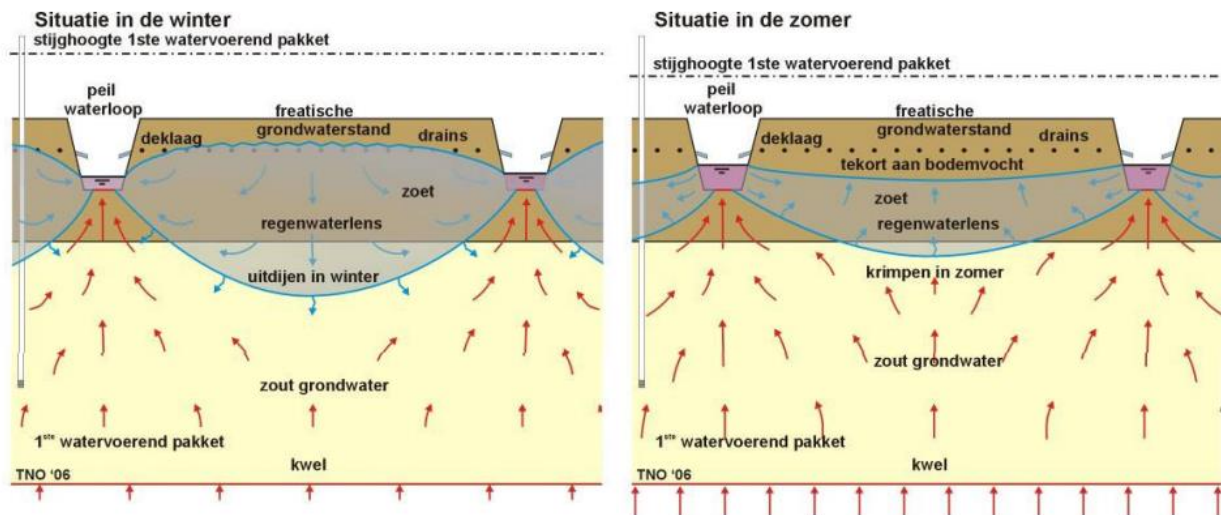
De dikte van de regenwaterlens onder zeeniveau is z

De dichtheid van zoet water is 1 tegenover die van zout water van 1.025. De vergelijking kan hierdoor versimpeld worden in:

$$z = 40h$$

Dit betekent dat voor iedere h boven zeeniveau de regenwaterlens 40 maal verdikt wordt onder zeeniveau.

Over het algemeen kent Nederland op jaarbasis een neerslagoverschot (meer neerslag dan verdamping). In de winter is er altijd sprake van een neerslagoverschot, terwijl in de zomer juist sprake is van een verdampingoverschot en dus een neerslagtekort. De regenwaterlens kent dus een seizoensdynamiek. In de winter wordt hij aangevuld met het neerslagoverschot waarna hij in de zomer weer slinkt als gevolg van het verdampen van de bovenste laag grondwater. Grondwateronttrekkingen door de mens laten de lens uiteraard ook krimpen.



Figuur 6 Uitdijen van regenwaterlens in winter door neerslagoverschot, krimpen van lens in de zomer door onttrekking en evaporatie. (Oude Essink, et al., 2014)

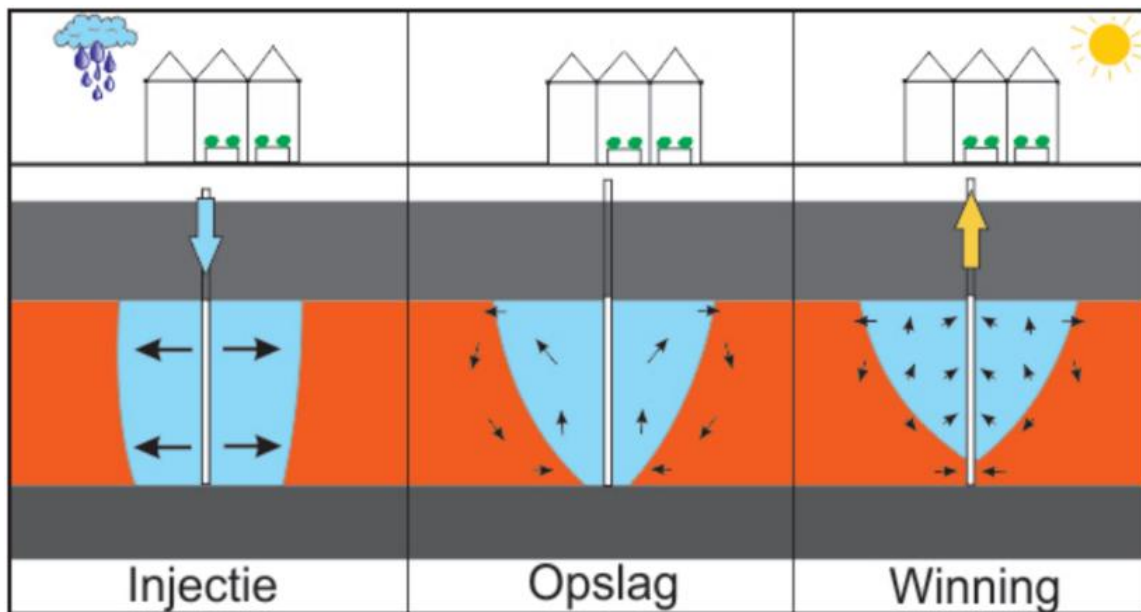
De krimpende lens biedt minder tegendruk aan het opwaarts stromende zoute grondwater waardoor het dichtër onder het maaiveld komt. De toename van het zoutgehalte van het grondwater in de bovenste laag, de bodem, wordt verzilting genoemd. De verzilting zal in de toekomst verergeren vanwege de klimaatverandering die leidt tot een stijgende zeespiegel (meer kweldruk) en meer verdamping (krimpende regenwaterlens). Ook wordt rekening gehouden met langere droogteperiodes in de zomer en toenemend menselijk gebruik (meer grondwateronttrekkingen).

1.3 Ondergrondse wateropslag

In Zeeland heeft 78% van het droge oppervlak de bestemming landbouw. De regenwaterlenzen zijn daarvoor essentieel, want de reguliere landbouw is afhankelijk van zoet water. De zoetwatervoorraden in de lenzen zijn Zeeland's belangrijkste bron van zoetwater voor de landbouw, omdat in de meeste gebieden geen externe aanvoer is. Omdat de aanvulling van deze voorraden afhankelijk is van de neerslag, vormt klimaatverandering een bedreiging voor het instandhouden van voldoende dikke lenzen om zowel water te mogen onttrekken (een lens moet minimaal 15 meter dik zijn), als verzilting tegen te gaan. Het zoute water kan immers de landbouwgewassen schaden als het de wortelzone bereikt. Verzilting van het grondwater heeft een negatief effect op de landbouwopbrengst, vooral voor zoutgevoelige teelten als fruitteelt, bollenteelt en vollegrondstuinbouw. Zoutschade aan gewassen vindt plaats doordat het zoute of brakke water dat de planten opnemen via de wortels processen in de plantencel in gang zetten die de cellen kunnen laten kapotgaan. Zout water dat direct op de bladeren komt, kan leiden tot "brandwonden" (Klimaat, 2009; Anoniem, 2015; van Baaren & Harezlak, Zoetwatervoorziening Schouwen-Duiveland, 2011; Friocourt, Kuijper, & Leung, 2014)

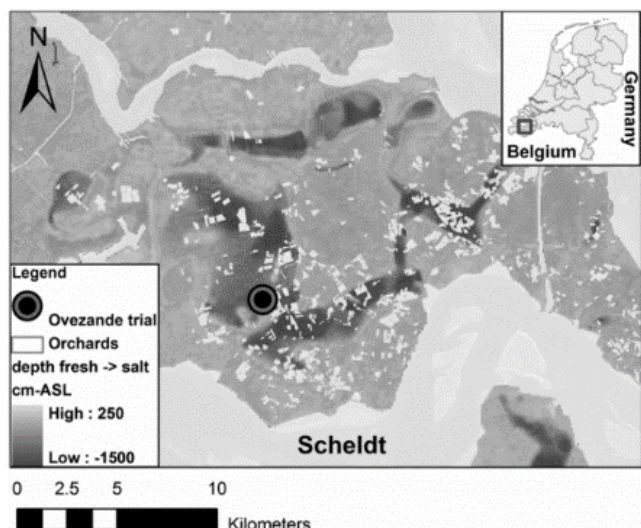
De Provincie Zeeland stelt er belang in ook in de toekomst zoet water beschikbaar te houden. Daarom is de Proeftuin Zoet Water opgestart. Een projectenprogramma waarin verschillende vormen van waterconservering worden onderzocht waaronder ondergrondse wateropslag. Ondergrondse waterberging heeft als voordeel tegenover andere alternatieven van waterberging dat het bovengronds nauwelijks ruimte in beslag neemt, het gebiedseigen water kan benutten en het de waterkwaliteit van de ondergrond kan behouden of verbeteren (Zuurbier, Paalman, van der Linde, de Gelder, & Meeuwse, 2015).

Bij ondergrondse wateropslag, in jargon Aquifer Storage and Recovery (ASR) genoemd, injecteert men water in de ondergrond en wint het terug d.m.v. oppompen als het water nodig is. Met een enkelvoudige verticale put (de buis in fig. 7) wordt in tijden van neerslagoverschot water geïnjecteerd en in een droge periode onttrokken. Deze techniek heeft in gebieden met zout grondwater zoals Zeeland als nadeel dat het zoute water de zoete bel doet opdrijven. Hierdoor gaat een deel van het onttrekbaar volume aan zoet water verloren.



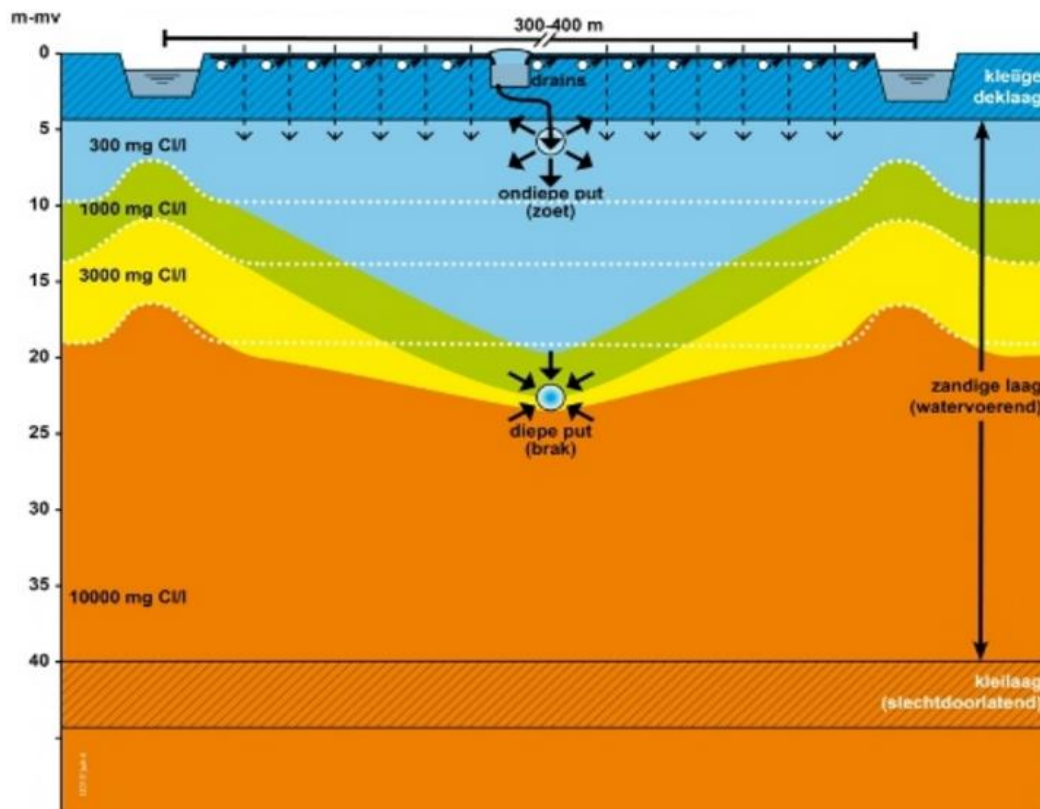
Figuur 7 Enkelvoudige put vorm ASR, via 1 verticale put wordt het zoete water (licht blauw) geïnjecteerd en onttrokken. Dit is problematisch in gebieden met zout grondwater (oranje). Zoet water drijft op door de druk van het zoute water waardoor er ook zout water wordt onttrokken tijdens de winning. (deltaproof.stowa.nl)

Recente ontwikkelingen in horizontaal geboorde putten (HDDWs) maken het mogelijk om zoet water op te slaan in gebieden waar de zoetwaterlens in contact staat met onderliggend zout grondwater. Deze techniek wordt de Freshmaker genoemd. Er loopt al een aantal jaar een succesvolle pilotstudie bij Ovezande in Zeeland. Hier wordt gebiedseigen water geïnjecteerd in een kreekrug en onttrokken voor gebruik in een fruitboomgaard. De onttrekking heeft een positief resultaat opgeleverd en de Freshmaker biedt potentieel kansen voor kustgebieden wereldwijd (Zuurbier, Kooiman, Groen, Maas, & Stuyfzand, 2015).



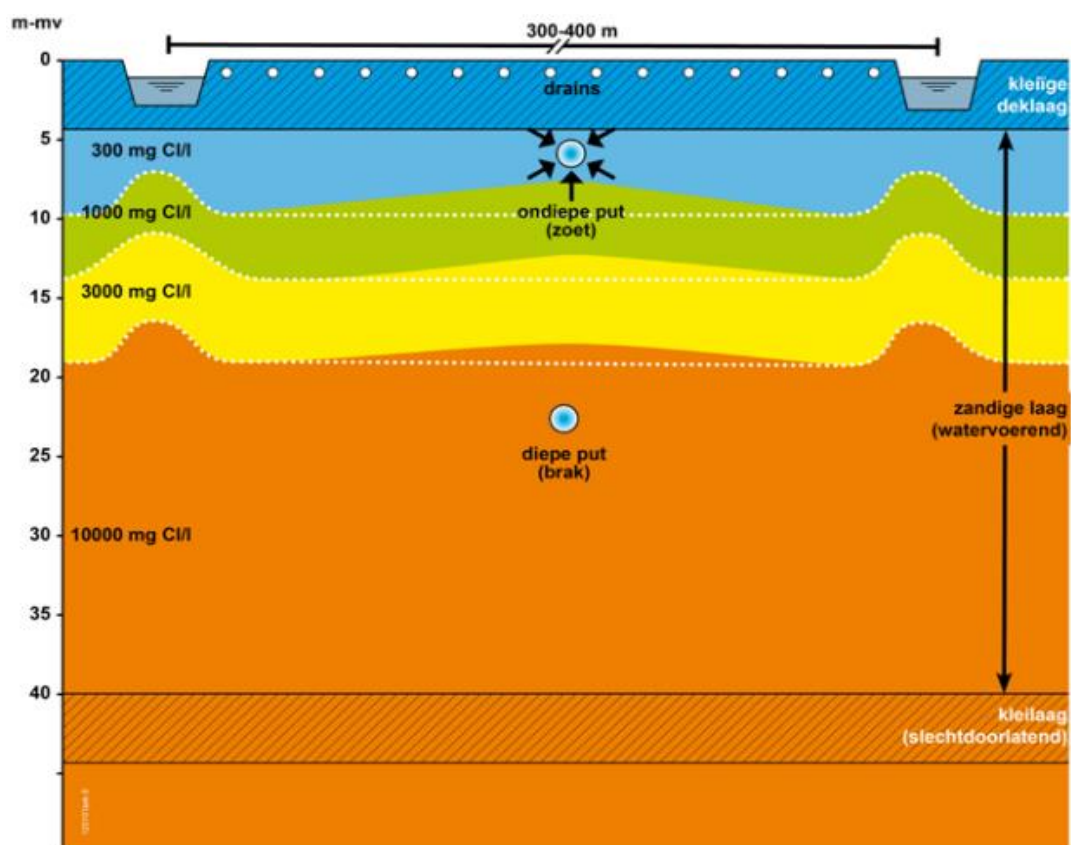
Figuur 8 Locatie pilot Freshmaker. (Zuurbier, Kooiman, Groen, Maas, & Stuyfzand, 2015)

De Freshmaker verdikt de regenwaterlens door actief het brak-zoutgrensvlak (1000 mg/l chloride) te verlagen en bovenin gebiedseigen water te injecteren. Met een horizontale put wordt er ondiep over een grote lengte zoet water geïnjecteerd en onttrokken. Tijdens injectie wordt op grotere diepte het zoute grondwater afgevangen en geloosd op een nabije sloot. Hiermee kan de brak-zoutgrens actief naar beneden gebracht worden zodat er ruimte gecreëerd wordt voor de zoetwateropslag. Zout water wordt simpelweg geforceerd vervangen door zoet water.



Figuur 9 Doorsnede Freshmaker in de lente, nadat het neerslagoverschot van de winter is geïnjecteerd. De ondiepe put heeft horizontaal een lengte van ca. 70 meter en heeft over de gehele lengte gaten waardoor het water geïnjecteerd kan worden en onttrokken. De put heeft een mantel van geotextiel om het sediment tegen te houden. Hetzelfde geldt voor de diepe put, deze wordt echter alleen gebruikt om water weg te pompen om ruimte te creëren tijdens injectie en om de lens in stand te houden. (kwrwater.nl)

Een deel van het winterse neerslagoverschot dat normaliter via de sloten wordt afgevoerd naar open water, wordt niet afgevoerd maar vanuit een nabije sloot eerst door een groot zandbed gefilterd om vervolgens de ondiepe put, 7 meter onder maaiveld (m-mv), ingepompt te worden. De pompcapaciteit is ca. 20 m^3 per uur. De diepe put ligt op 18 meter onder maaiveld. Dat is op dit moment de maximaal technisch haalbare diepte voor de Freshmaker. In de zomer, wanneer er noodzaak is te irrigeren wordt het opgeslagen water onttrokken via de ondiepe put. Omdat deze horizontaal over een grote oppervlakte het water onttrekt kan de lens gelijkmatig verdunnen en wordt de menging tussen zoet en zout geminimaliseerd.



Figuur 10 Freshmaker in de herfst, na een zomer lang onttrekking van zoet water. De zoetwaterlens is gelijkmatig geslonken tot de mengzone de ondiepe put heeft bereikt. Hiermee is tevens het maximaal onttrekbaar volume bereikt.

Een voorwaarde voor een succesvolle Freshmaker is een geschikt opslagmedium voor het water. Zand heeft een grove poriestructuur en daarmee relatief veel volume om water op te slaan en gemakkelijk door te laten. De totale porositeit van uiterst fijn tot matig grof zand heeft een bergingscoëfficiënt van 0,38 (Olsthoorn, 1977). Hiermee is zand een zeer geschikt opslagmedium. Klei en veen daarentegen zijn slecht doorlatend en werken storend voor de verticale beweging van het grondwater en frustreren daarmee de werking van de Freshmaker. Kleilagen in het Freshmakertraject (5-18 m-mv) zijn daarom onwenselijk of sluiten de aanleg zelfs uit. Een kleiige deklaag tot ongeveer 5 meter vormt geen probleem omdat het water daaronder wordt geïnjecteerd. Een kleilaag net onder de diepe put heeft zelfs een positief effect op de werking van de Freshmaker, omdat daarmee de aanvoer van zout water vanuit de diepte wordt beperkt en via de diepe put dus alleen relatief ondiep zout water wordt onttrokken. Hierdoor werkt de Freshmaker efficiënter omdat enkel het zoute water boven de kleilaag afgevangen hoeft te worden. Alhoewel het wenselijk is om een 'afgesloten' laag te hebben is het niet noodzakelijk voor de Freshmaker. Dit is bij de pilot in Ovezande gebleken.

1.4 Waterkwaliteit en kwantiteit

Het injectiewater dat wordt gebruikt om de Freshmaker aan te vullen in de winter moet aan kwaliteitseisen voldoen. Allereerst mag het water niet te zout zijn omdat het anders onbruikbaar wordt voor irrigatiedoeleinden. Voor beregening wordt doorgaans een bovengrens van 300 mg/l chloride aangehouden. De aanvoerende sloot moet dus in de aanvulperiode, tussen november en februari onder deze waarde blijven. De aanvulperiode begint bewust pas in november omdat er voor die tijd uitspoeling plaatsvindt van bestrijdingsmiddelen en nutriënten. Dit is aangetoond met metingen in de aanvoerende sloot van de pilot Freshmaker.

De huidige wetgeving voor de infiltratie of injectie van water in de ondergrond hanteert kwaliteitseisen die zijn gebaseerd op de productie van drinkwater, omdat dit lange tijd de enige toepassing was waarvoor water in de ondergrond werd geïnfiltreerd. Deze eisen zijn strikter dan nodig voor ondergrondse wateropslag ten behoeve van landbouw. Vooral de controle-eisen zijn erg hoog. De toepassing van waterconservering ten behoeve van de landbouw en de noodzaak daarvoor andere kwaliteitseisen te hanteren wordt herkend door de wetgever. Er ligt momenteel een voorstel voor een wetsaanpassing dat rekening houdt met andere toepassingen van ondergrondse wateropslag dan enkel drinkwater. Dit zal voor de Freshmaker wellicht positief uitpakken, met name omdat de controledruk aanzienlijk verminderd zal worden en dus dure analyses achterwege kunnen blijven. De kwaliteit van het slootwater moet overigens nog wel voldoen aan de chemische waterkwaliteit volgens de Europese norm voor grondwaterlichamen. Ook de onttrekkingswetten vragen aanpassing voor de Freshmaker. Nu is de onttrekking nog gemaximaliseerd op 80 mm, omdat zo'n hoeveelheid jaarlijks gemiddeld op natuurlijke wijze wordt aangevuld en de zoetwaterbel dus niet uitgeput raakt. Ingeval van een Freshmaker wordt echter geforceerd meer dan 80 mm toegevoegd, zodat het billijk lijkt ook grotere onttrekkingen toe te staan.

Hoeveel water er beschikbaar is voor injectie in de Freshmaker hangt af van het debiet van de aanvoerende sloot of sloten. Het debiet daarvan wordt bepaald door het neerslagoverschot. Het grondoppervlak waarvan het regenwater afvoert naar dezelfde sloot wordt het afvoergebied genoemd. Aan de hand van de omvang van het afvoergebied kan dus geraamd worden hoeveel water gemiddeld op jaarbasis beschikbaar is voor ondergrondse waterberging.

1.5 Doelstelling

In vervolg op de succesvolle pilot in Ovezande wil de provincie Zeeland graag nagaan of schaalvergroting tot een gebiedsFreshmaker mogelijk is. Hierbij wordt gedacht aan een grootte van ca. 200 hectare. Omdat het gebied ten zuiden van 's Heerenhoek kansrijk lijkt te zijn en omdat het zich in praktische zin gunstig kwalificeerde, wordt dit gebied als eerste bestudeerd. De eerste stap is een verkenning van het gebied in termen van geologische en hydrologische haalbaarheid. Later zullen ook organisatorische aspecten worden bestudeerd, want anders dan bij een kleine Freshmaker op bedrijfsniveau vergt een gebiedsFreshmaker samenwerking tussen verschillende (soorten) gebruikers en wellicht ook andere financieringsconstructies. Deze aspecten blijven echter in het kader van deze afstudeerafspraak buiten beschouwing. Hier wordt alleen de technische geohydrologische kant van de zaak onderzocht.

Recentelijk is in het rapport Fresh Water Options Optimizer (Hoogvliet, et al., 2014) een methode beschreven waarmee de Freshmakergeschiktheid van de ondergrond geclassificeerd kan worden. Dat is voor heel Nederland gebeurd op basis van zes criteria. De methode is functioneel voor het onderscheiden van kansrijke en kansloze gebieden op nationaal schaalniveau, maar voor een gedetailleerde geografische indicatie binnen de kansrijke gebieden van Zeeland schiet hij tekort. Belangrijk onderdeel van deze afstudeeropdracht is daarom geweest een aangepaste methode te definiëren en die met de beschikbare gedetailleerde geografische informatie toe te passen op het gekozen studiegebied ten zuiden van 's Heerenhoek en aldus de Freshmakergeschiktheid van het gebied te bepalen. Daarnaast zijn waterkwaliteits- en kwantiteitsgegevens vergaard door veldmetingen en door extractie uit bestaande databases.

2 Methode

2.1 Zoekgebied

Voor het zoekgebied is bewust niet de kern van het kreekruggengebied van Zeeland gekozen, maar de rand daarvan. De reden hiervoor is dat binnen een kreekrug van nature al een dikke regenwaterlens ontstaat van vaak meer dan 15 meter dikte. En dus mag er volgens de huidige regelgeving water aan onttrokken worden voor irrigatie. Het gekozen gebied ligt net buiten het kreekruggengebied en dicht bij de Westerschelde. Hier is de natuurlijke vorming van zoetwaterbellen veel minder sterk, waardoor er in periodes van droogte nauwelijks water onttrokken mag worden. Juist deze gebieden hebben het meest te winnen met een kunstmatig gevormde zoetwaterlens door middel van een Freshmaker. Er zijn meer dergelijke gebieden in Zeeland met weinig natuurlijke zoetwaterbelvorming. Uit praktisch oogpunt is het gebied gekozen ten zuidoosten van het dorp 's-Heerenhoek in Zuid-Beveland, omdat dit dicht in de buurt lag van de woonplaats van de afstudeerder, wat praktisch was voor het uitvoeren van de veldmetingen.

Het studiegebied is opgedeeld in drie deelgebieden, ieder met een eigen dominante afvoerende sloot (een primaire watergang). De grootte van elk van de drie gebieden is grofweg 200 hectare (fig. 11). Het werkelijke aanvoergebied van de primaire sloten is veel groter dan de gekozen deelgebieden. Het is afgebakend omdat een veldmeting in het gehele aanvoergebied niet haalbaar is binnen het kader van dit onderzoek. Er stroomt in werkelijkheid dus meer water via de primaire sloten door de deelgebieden dan het water afkomstig van het oppervlak van het deelgebied.

Voor ieder gebied is nagegaan hoeveel water er in het najaar van 2015 door de sloot is afgevoerd en of dit zoet genoeg was om te kunnen injecteren in een Freshmaker. Hiertoe is het chloridegehalte van de sloot over de tijd in kaart gebracht en er is gekeken hoe het chloridegehalte reageert op neerslag. Zo is bepaald wanneer en hoeveel water beschikbaar was en of het geschikt was voor injectie. De overige chemische waterkwaliteit en bestrijdingsmiddelen zijn niet gemeten omdat er beperkte tijd en middelen beschikbaar zijn voor dit onderzoek. In plaats daarvan is gebruik gemaakt van de kennis van externen. Koen Zuurbier van het KWR stelt, op basis van de meetgegevens van de pilot Freshmaker, dat vanaf november de waterkwaliteit van sloten van voldoende kwaliteit is voor injectie. Daarom wordt in dit onderzoek uitgegaan van de periode november t/m februari waarin het neerslagoverschot beschikbaar is voor injectie. Op basis van neerslagdata van het KNMI over een periode van 10 jaar lang, het winterseizoen november t/m februari, is gekeken hoeveel water er in theorie per deelgebied beschikbaar is voor een Freshmaker.

De Freshmakergeschiktheid is bepaald aan de hand van de beschikbare geografische informatie van Zeeland op de volgende criteria:

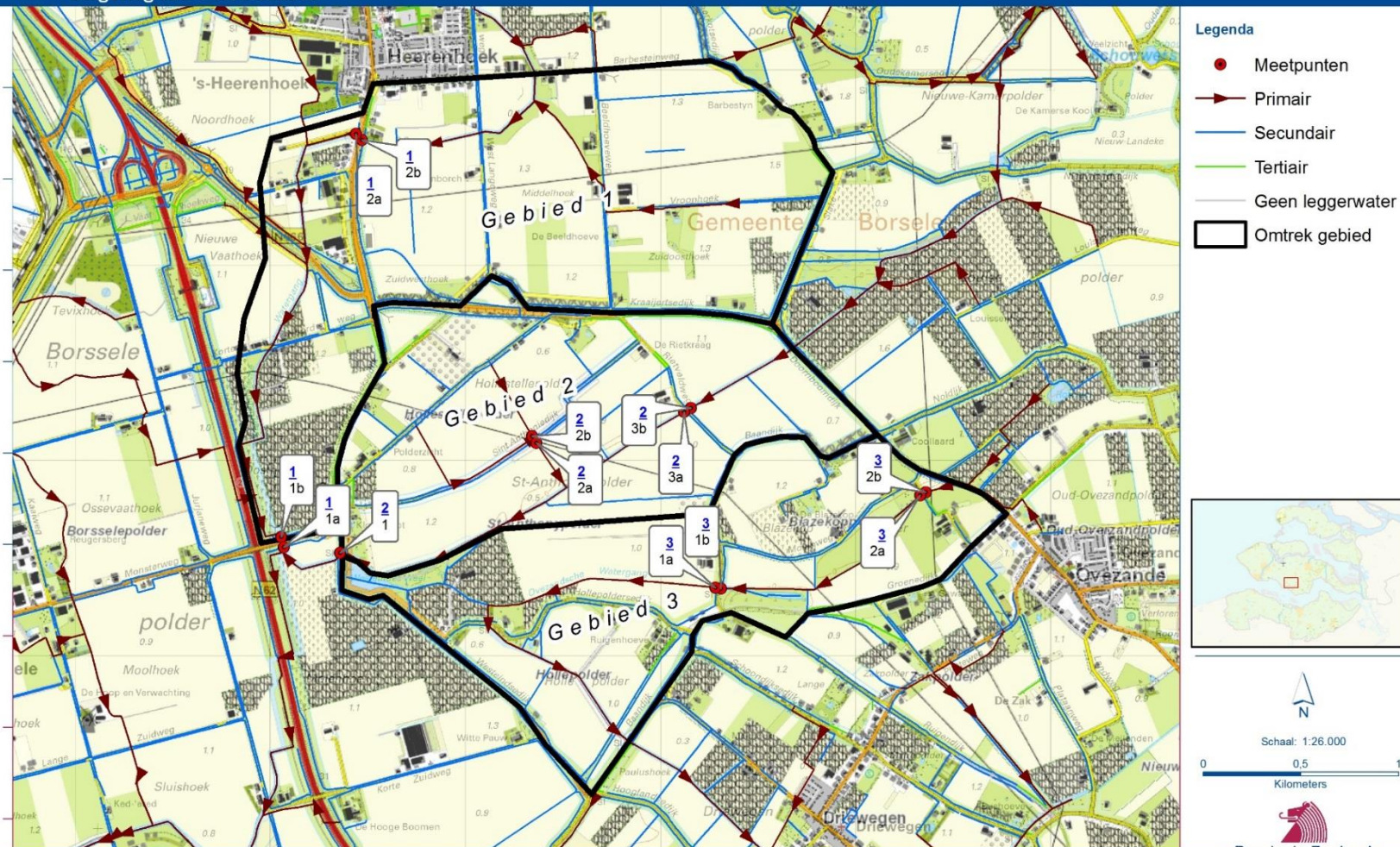
- infiltratiegeschiktheid van de ondergrond. De verschillende typen sediment (zand, grind, klei, veen etc.) worden ook wel lithoklassen genoemd
- de diepteligging van het brak-zoutgrensvlak
- de aanwezigheid van een slecht doorlatende laag onder het Freshmakertraject, wat de efficiëntie kan vergroten

De beoordelingsmethode wordt verderop in detail beschreven. Het resultaat ervan levert potentiële locaties voor een Freshmaker. Tegelijkertijd kan met behulp van de potentiële

locaties een inschatting gemaakt worden van de bergingscapaciteit van elk gebied. Hoeveel van de bergingscapaciteit benut kan worden, wordt berekend met de gemiddeld beschikbare hoeveelheid water geschikt voor injectie.

Meetplan zoekgebieden

Omgeving van 's-Heerenhoek



Figuur 11.

2.2 Waterkwaliteit en kwantiteit

De waterkwaliteit is alleen beoordeeld op chloride, omdat de gehele algemene chemische toestand (naast chloride ook nitraat, bestrijdingsmiddelen, zware metalen en arseen) te kostbaar was om te meten. Er wordt vooralsnog vanuit gegaan dat net als bij de pilotstudie in Ovezande (slechts enkele kilometers oostelijker) het slootwater schoon genoeg is omstreeks november, nadat de meeste stoffen zijn uitgespoeld. Ter controle zijn de historische meetgegevens van de desbetreffende sloten vergeleken met de Europese norm voor grondwaterlichamen (RBO-Schelde, 2014), maar er zijn te weinig meetgegevens van het waterschap beschikbaar, specifiek uit de winterperiode, om conclusies te kunnen trekken over de geschiktheid.

2.2.1 Chloridegehalte sloten

Het chloridegehalte van de sloten in het zoekgebied is bepaald door de resultaten van de veldmeting, in elektrische geleidbaarheid, om te rekenen naar chloride. Deze conversie is gebaseerd op de relatie die is gevonden met de resultaten van een lab-analyse van monsters uit dezelfde omgeving. Vervolgens zijn ter validatie de metingen vergeleken met de meetgegevens van het waterschap voor de overlappende meetpunten.

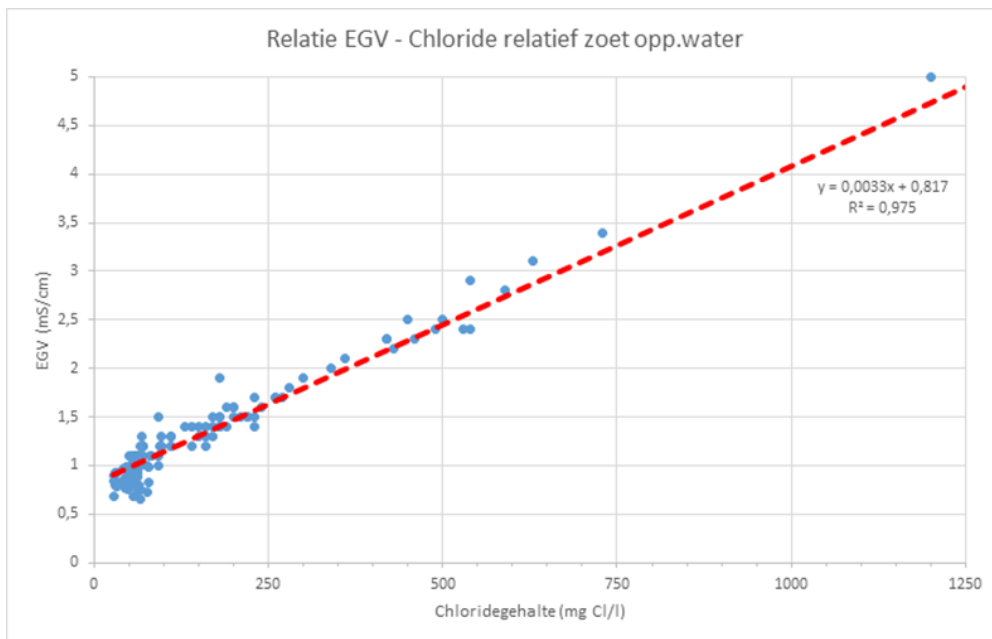
Voor de veldmeting is gebruikt:

- Elektrische geleidbaarheidsmeter (HANNA Instruments, HI 9033 Multi-range Conductivity meter). De eenheid daarvan is milliSiemens per centimeter.
 - *mS/cm*

Er is gemeten zo dicht mogelijk in het midden van de sloot, ± 20 cm onder het wateroppervlak. In de periode van 1 oktober 2015 t/m 26 november 2015 zijn de meetpunten (fig. 11) wekelijks gemeten.

Berekening:

Conversie van mS/cm naar mg Cl/l is gebaseerd op de resultaten van lab-analyse van monsters uit de omgeving (fig. 12.).



Figuur 12 Relatie EGV tot chloridegehalte, chloridegehalte geanalyseerd in lab, metingen tussen 2013-2014, omgeving 's-Heerenhoek

2.2.2 Respons chloride in sloot op neerslag

De vertragingstijd tussen de regenval en wanneer het water de sloot heeft bereikt, is belangrijk om te weten wanneer er slootwater onttrokken kan worden voor het voeden van de Freshmaker. Ook is van belang te weten of de sloot zoet genoeg is na aanvulling met regen.

Om dit verband in kaart te brengen is naast de chloridemetingen ook iedere dag de neerslag gemeten. Hiervoor is een simpele regenmeter gebruikt. De meting is gedaan in Borssele en is in millimeters afgerond.

Gedurende een relatief intensieve neerslagperiode is de meetfrequentie verhoogd naar 3 maal per dag, gedurende een aantal dagen om inzicht te krijgen in hoelang het duurt voordat de sloot zoeter wordt. Dit wordt de intensieve meting genoemd.

2.2.3 Debiet sloten volgens stroomsnelheidsmeting

Bij ieder meetpunt is de stroomsnelheid gemeten om uiteindelijk het debiet te kunnen berekenen.

Veldmeting:

- Stroomsnelheidsmeter (OTT hydrometrie, Nautilus C 2000, Sensa Z 300). De eenheid is centimeter per seconde.
 - cm/sec

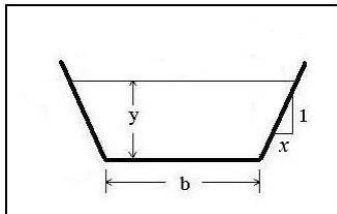
De stroomsnelheidsmetingen zijn uitgevoerd zo dicht mogelijk in een duiker of in de sloot zelf. Voor de berekening van het debiet is de oppervlakte van de hydraulische doorsnede van de watergang berekend volgens de volgende vormen:

b = bodem breedte m

y = waterdiepte m

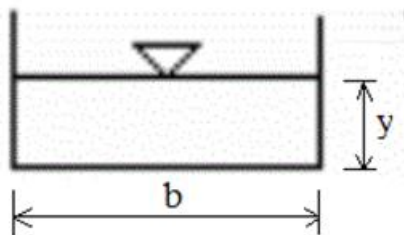
$1/x$ = talud

Trapezium:



Oppervlakte $A = (b + xy)y$

Rechthoek:



Oppervlakte $A = by$

Het meten van de waterdiepte is niet overal mogelijk vanwege de toegankelijkheid. Ook is de precieze trapeziumvorm niet bepaald, maar over genomen van de gegevens van het waterschap. Deze gegevens zijn verkregen van waterschap Scheldestromen via waterschapscheldestromen.nl.

Waar de diepte niet gemeten is, is de peilhoogte in NAP – binnenkant onderkant duiker (b.o.k.) NAP gebruikt voor de berekening. Deze gegevens zijn verkregen van waterschap Scheldestromen.

Het debiet (Q) in m^3/sec is berekend door de hydraulische oppervlakte (A) in m^2 van de duiker te vermenigvuldigen met de gemeten stroomsnelheid (u) in m/sec in de duiker.

$$Q = uA$$

Ter verificatie zijn ook de debietdata van de automatische stuw, enkel aanwezig in gebied 1, gebruikt. Deze stuw meet iedere 15 minuten het debiet.

2.2.4 Water beschikbaar voor de Freshmaker volgens neerslagdata

Neerslagdata

- 10-jaars gemiddelde neerslagoverschot (winter 2003-2004 t/m winter 2012-2013) Wilhelminadorp, seizoen loopt van november t/m februari
 - o *neerslagoverschot in mm*

Oppervlakte gebied (berekend met *calculate area* in ArcGIS)

- Totaal aanvoergebied voor gebied 1, 2 en 3.

Niet alle regen die valt in de winter is beschikbaar om te injecteren in de Freshmaker. Na lange periodes van droogte kan het slootwater te zout zijn voor infiltratie of het debiet onvoldoende groot zijn. Ook is er het risico van zoutuitspoeling uit de grond, zodat na neerslag de sloot eerst zouter wordt en daarna pas verzoet.

Als een sloot te zout water bevat (>300 mg/l chloride), zijn kleine regenbuien niet voldoende om het zoutgehalte in de sloot te verdunnen naar een acceptabel niveau voor de Freshmaker. Hoeveel millimeter regen er moet vallen om de sloot zoet genoeg te krijgen hangt af van:

- De chlorideconcentratie op dat moment
- De oppervlakte van aanvoerende gebied waarvan de regen naar de sloot stroomt, en dus het volume aan regenwater wat de sloot kan verzoeten
- Het volume water in de sloot zelf

Er is daarom niet eenduidig aan te geven hoeveel millimeter regen er moet vallen om de sloot zodanig te verzoeten dat het vervolgens beschikbaar is voor de Freshmaker. Er is gekozen voor een regenbui van 10 millimeter in 24 uur omdat volgens de veldmetingen het chloridegehalte begint te dalen na ongeveer 5 millimeter neerslag in 24 uur. De 10 mm is gebruikt als arbitraire veilige marge om een eventueel te zoute sloot voldoende te verzoeten zodat het water geschikt is voor injectie in een Freshmaker.

Om een inschatting te maken van de hoeveelheid beschikbaar water, is er over het seizoen (november t/m februari), over 11 jaar (2002-2003 t/m 2012-2013) gekeken hoe vaak er gemiddeld neerslag (>10 mm in 24 uur) voorkomt. Vervolgens is het gemiddelde aantal millimeters per regenbui gespecificeerd. Deze gegevens kunnen gekoppeld worden aan het aanvoeroppervlak van de Freshmaker om het beschikbare water te berekenen.

Alle neerslag van >10 mm wordt gerekend als beschikbaar voor de Freshmaker. Dit wordt vermenigvuldigd met het aanvoergebied van gebied 1, 2 en 3.

De beschikbare neerslag bij een bui van > 10 mm is een voorzichtige inschatting van de totaal beschikbare neerslag. Bedoeld om een mogelijk te zoute sloot eerst te verzoeten, alvorens het water te injecteren. De beschikbaarheid van alle neerslag gaat er vanuit dat de sloot zoet genoeg is voor injectie in een Freshmaker.

De totale gemiddelde neerslag over het seizoen (november t/m februari), over 11 jaar (2002-2003 t/m 2012-2013) is per dag berekend. Vervolgens is deze waarde vermenigvuldigd met

het aantal dagen in het seizoen om te totale neerslag te berekenen. Het neerslagoverschot is vermenigvuldigd met de oppervlakte van elk gebied om het volume regenwater te berekenen.

De hoeveelheid beschikbare neerslag is in de praktijk lager doordat er water in de onverzadigde zone kan achterblijven. Hoeveel er in de onverzadigde zone blijft hangen is afhankelijk van het neerslagoverschot of –tekort in de voorgaande periode. Het is echter onwaarschijnlijk dat dit een grote rol speelt in de winter tussen november en februari, wanneer er voornamelijk een neerslagoverschot is. Hier wordt in de berekening dan ook geen rekening mee gehouden.

2.2.5 Vergelijking waterbeschikbaarheid en watervraag

De uitkomst van de waterbeschikbaarheid volgens neerslagdata in combinatie met de opslagcapaciteit van de ondergrond wordt vergeleken met de watervraag van fruittelers in Zeeland. De fruitteelt is gekozen omdat deze vorm van landbouw kapitaalintensief is, relatief hoge prijzen voor het verbouwen van het product en relatief hoge opbrengst. Het is daarom ook waarschijnlijker dat een fruitteeler zal investeren in een Freshmaker dan een boer die graan verbouwd. De pilot Freshmaker in Ovezande is ook in samenwerking met een fruitteeler uitgevoerd. Er is dus duidelijk interesse vanuit deze bedrijfstak. De watervraag voor de fruitteelt in Zuid-Beveland (waar ook dit onderzoek plaatsvindt) is onderzocht door (van de Ven, 2012). Deze informatie wordt gebruikt om aan te tonen of er genoeg water in het onderzoeksgebied beschikbaar is om aan de watervraag te voldoen.

Omdat er op dit moment vrij weinig fruittelers zijn binnen het zoekgebied is de watervraag op dit moment klein. Daarom is gekeken hoeveel oppervlak fruitteelt er mogelijk is als het beschikbare neerslagoverschot wordt opgeslagen in een Freshmaker.

2.3 Geohydrologische geschiktheid

Met behulp van GIS (Geografisch informatiesysteem) zijn bestaande kaarten die informatie bevatten over de ondergrond, gebruikt om nieuwe kaarten te maken die de Freshmakergeschiktheid weergeven. De kaarten zijn 2D en bestaan uit ‘grids’ van vaak 5x5 of 100x100 meter. De detaillering van de geproduceerde kaart wordt bepaald door de informatie met het meest grove grid.

Op deze manier is al eerder een Freshmakergeschiktheidskaart gemaakt voor heel Nederland in het rapport Fresh Water Options Optimizer (Hoogvliet, et al., 2014). De beschouwing en aanpassing van de methodiek voor Zeeland is hieronder beschreven.

2.3.1 Beschouwing methodiek Hoogvliet et al.

Factoren (Hoogvliet, et al., 2014):

Tabel 1 Factoren zoals beschreven in Fresh Water Options Optimizer, Hoogvliet et al.

Factor A: aanwezigheid van geschikt opslagmedium in het dieptetraject voor een Freshmaker. Deze factor wordt niet afzonderlijk bepaald maar volgt uit factor C.
Factor B: dikte van de deklaag, die minder dient te zijn dan 5 meter.
Factor C: het voorkomen van klei- en veenlagen in de Freshmakerzone (5 tot 20 m-mv) Toegestaan cumulatief klei en veen 2,0 m tussen 5 en 15 m-mv en 1,0 m tussen 15 en 20 m-mv. (Deze grote tolerantie is gehanteerd omdat op landelijke schaal geen enkel gebied geen dunnere kleilaag in dit dieptetraject leek te bevatten).
Factor D: kleilaag in traject 20-40 m-mv. Gunstige afsluitende werking tegen het diepere zoute grondwater, efficiënter onttrekkingsdebiet van de diepe put.
Factor E: aanwezigheid zoetwaterlens van 3 tot 15 m dikte
Factor F: horizontale stroomsnelheid van belang voor afdrijving van zoetwaterlens
Factor G: ligging in zoutgebied (brak-zoutgrensvlak ondieper dan 25 m-mv)

Voor de situatie in Zeeland kunnen de bovenstaande factoren versimpeld worden tot drie criteria met de volgende aanpassingen:

- Door het geringe hoogteverschil in het grootste deel van Zeeland (uitgezonderd de duinen) is factor F, de afdrijving van de zoetwaterlens verwaarloosbaar.
- Met een andere manier van kaartanalyse kan met één kaart worden bepaald in welk gebied de deklaag niet dikker is dan 5 meter, er geen storende klei- en veenlagen voorkomen en de ondergrond dus een geschikt opslagmedium vormt. Respectievelijk de factoren A, B en C.
- Factor E en G worden samengevoegd met de veronderstelling dat al het grondwater boven het brak-zoutgrensvlak per definitie zoet is. Hierdoor is de informatie over de dikte van de zoetwaterlens overbodig.

Dit vertaalt zich in de volgende drie criteria voor de beoordeling van geschiktheid van de ondergrond voor een Freshmaker,

Tabel 2 Criteria Freshmakergeschiktheid Zeeland

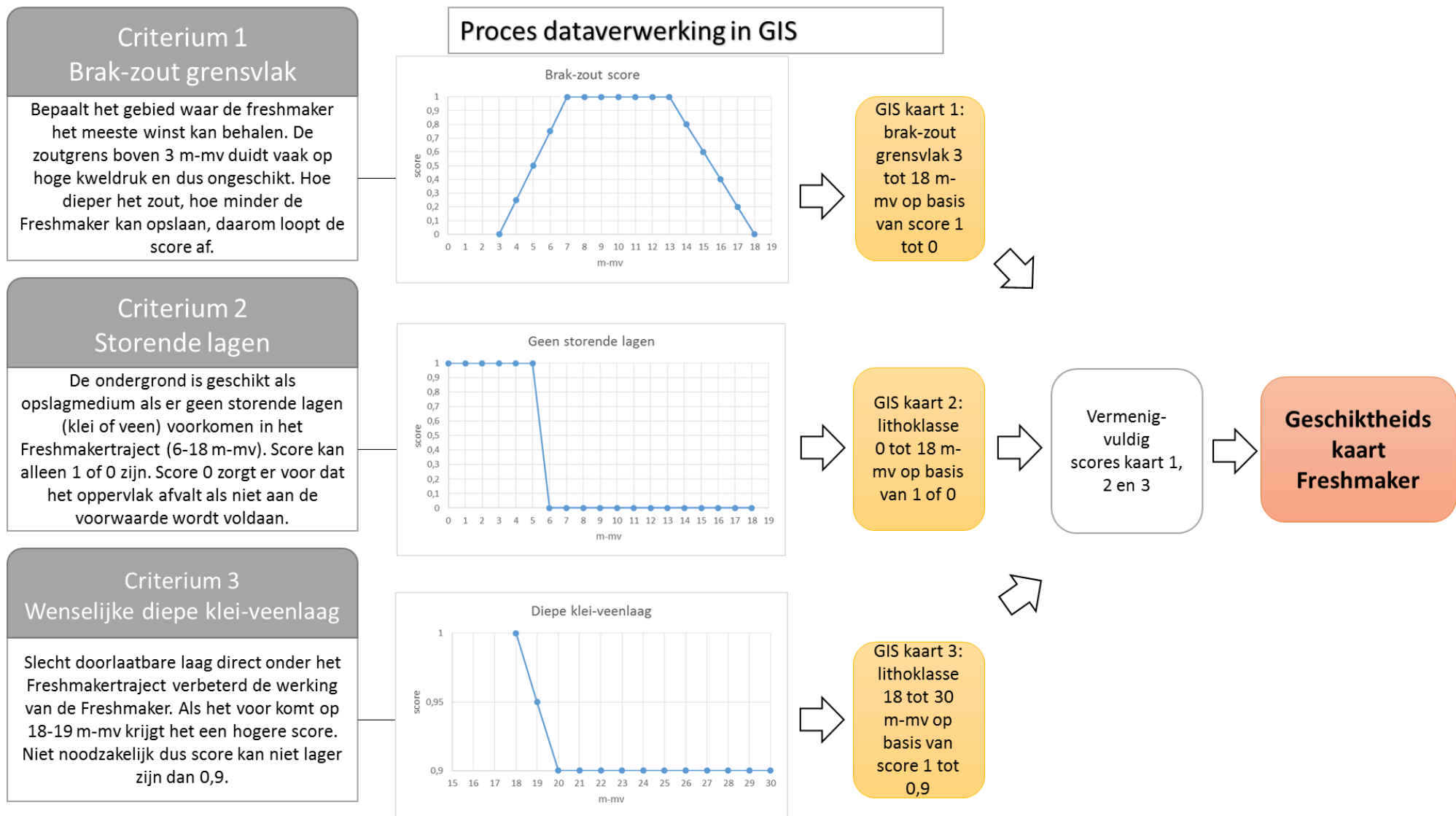
	Beschrijving	Gebruikte informatie
Criterium 1 Brak-zoutgrensvlak	Brak-zoutgrensvlak (de grens waar het chloridegehalte 1000 mg/l wordt geschat) tussen 3 en 18 m-mv. De maximale diepte van 18 m-mv wordt aangehouden omdat de gedachte achter de Freshmaker is dat zout water wordt vervangen door zoet. Voorwaarde daarvoor is dat het zout niet op grote diepte zit, omdat het persen van horizontale putten op meer dan 18 m beneden maaiveld momenteel nog niet voor een redelijke prijs mogelijk is. Voorwaardelijk* De dieptegegevens van het brak-zoutgrensvlak zijn een modelschatting van de werkelijke situatie. Bovendien is alleen de grens van 1000 mg/l beschikbaar. Noodgedwongen is daar in dit geval gebruik van gemaakt, omdat representatieve concrete meetdata niet beschikbaar zijn. Er loopt echter op dit moment een project, FRESHEM Zeeland (FREsh Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey), dat gebiedsdekkend de zoutconcentraties van het grondwater in kaart brengt. De metingen worden uitgevoerd vanuit de lucht door de elektrische weerstand van de bodem te meten (van Baaren, FRESHEM, 2015). Als dit project oplevert wat ervan wordt verwacht, zal de zoutconcentratie nauwkeuriger beschikbaar komen en dus ook bv. de voor deze toepassing relevantere grens van 300 mg/l kunnen worden bepaald. Bij de 1000 mg/l grens van de huidige kaart wordt er vanuit gegaan dat het daarboven zoeter wordt, waar dat precies is kan er niet uit opgemaakt worden. Het kunnen aantonen van een zoetwaterlens is gunstig voor de Freshmaker omdat hier de natuurlijke situatie alleen nog maar versterkt dient te worden. Helaas is deze informatie niet op tijd beschikbaar om gebruikt te worden in dit onderzoek.	GIS kaart 1000 mg/l chloride, DINOloket In de toekomst: FRESHEM
Criterium 2 Storende lagen in Freshmakertraject	Geen storende klei- of veenlagen tussen 6 en 18 m-mv. Het slechte infiltratiekarakter van klei en veen zorgt ervoor dat het een barrière vormt tegen het infiltrerende water. Een laag van meer dan 0,5 meter verhindert de injectie van de Freshmaker. Lagen van minder dan 0,5 meter kunnen	GIS kaart lithoklasse 0 tot 30 m-mv, DINOloket

	toegestaan worden maar omdat de beschikbare informatie van de ondergrond in stappen van 1 meter gaat, kan er geen onderscheid gemaakt worden in diktes van minder dan 0,5 m. Door de grofheid van de kaartinformatie zijn we genoodzaakt geen klei of veenlagen in de Freshmakerzone toe te laten. Voorwaardelijk*	
Criterium 3 Slecht doorlatende diepe laag	Slecht doorlatende laag direct onder het Freshmakertraject. Klei schermt het zoute water van grotere diepte af van de zoetwaterbel die de Freshmaker beoogt te vergroten. De Freshmaker werkt efficiënter omdat er minder zout grondwater weggepompt te worden. Het diepere grondwater wordt afgesloten van de pomp waardoor enkel het bovenliggende zoute water hoeft worden weggepompt. 18 en 19 m-mv	GIS kaart lithoklasse 0 tot 30 m-mv, DINOloket

** Als er niet wordt voldaan aan de voorwaarden van een voorwaardelijk criterium wordt het oppervlak als ongeschikt gerekend.*

Aan ieder criterium is per gridpunt een score toegekend tussen 0 en 1. Van elk criterium is een afzonderlijke scorekaart opgemaakt. De drie criteriascores zijn vervolgens met elkaar vermenigvuldigd, wat dus ook weer per gridpunt een score tussen 0 en 1 oplevert die voor de betreffende locatie de uiteindelijke Freshmakergeschiktheid aangeeft en grafisch kan worden weergegeven. De bewerkingwijze is geïllustreerd in fig. 13.

De reden om het scoresysteem voor de factoren van Hoogvliet et al. aan te passen is dat hun aanpak een sterk binair karakter heeft: voor de factoren gelden waarden van 0 of 1 en verschillende factoren zijn bovendien voorwaardelijk. De aangepaste aanpak levert een veel bredere range aan geschiktheidsscores dan die volgens Hoogvliet et al. en maakt het daarmee mogelijk een veel verfijnder ruimtelijk onderscheid te maken.



Figuur 13

3 Resultaten

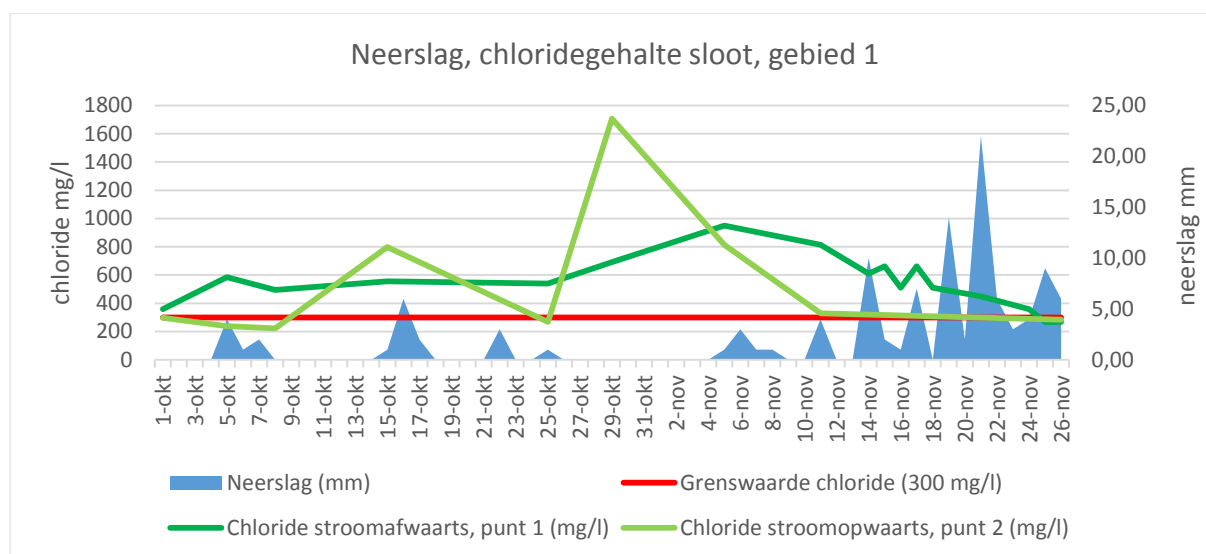
3.1 Waterkwaliteit en -kwantiteit

3.1.1 Chlorideconcentraties, neerslag en slootdebieten

Per gebied zijn gemeten chloridegehalten en slootdebieten van verschillende monsterlocaties in aparte grafieken samen met de neerslag weergegeven.

Gebied 1

In gebied 1 zijn grote fluctuaties gemeten in het chloridegehalte. Het meetpunt stroomopwaarts meet een piek van 1700 mg/l. Alle gemeten waarden komen nauwelijks onder de grenswaarde van 300 mg/l. Na vrijwel iedere regenbui (de blauwe pieken) treedt wel een verzoeting op in de sloot. De individuele buien in de eerste helft van de meting zijn niet voldoende om het chloridegehalte laag genoeg te krijgen voor een Freshmaker (< 300 mg/l). Na de aanhoudende regen in november blijft het chloridegehalte dalen. De meting eindigt op het punt waar de concentratie net onder de grenswaarde komt.



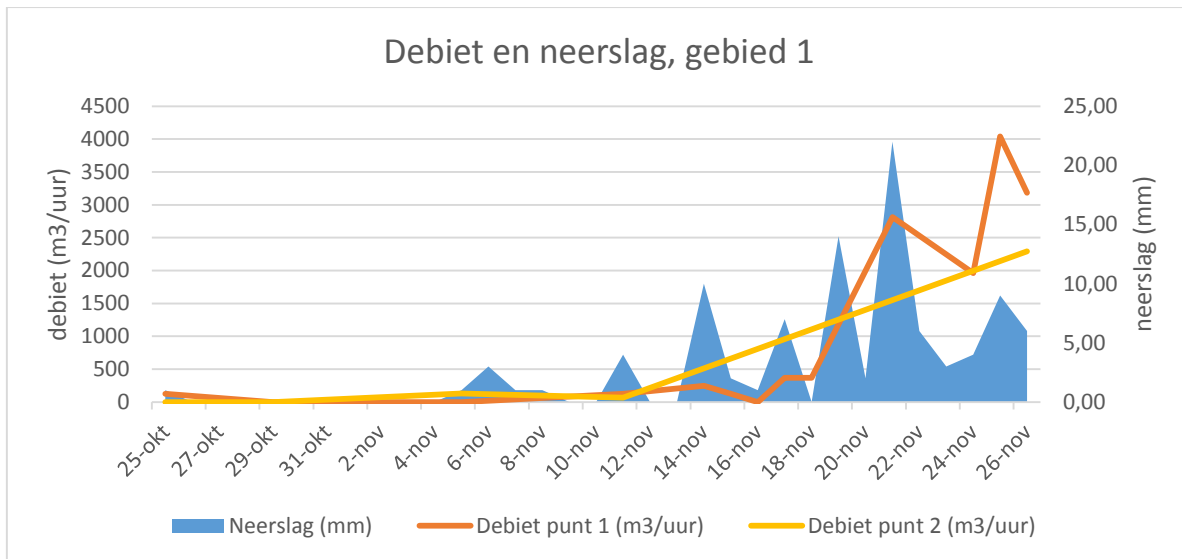
Figuur 14 Neerslag en chloride, gebied 1. De rode lijn geeft de maximale waarde van chloride aan voor injectie in een Freshmaker.

Berekening oppervlakte doorsnede sloot:

Tabel 3 Berekening oppervlakte (A) doorsnede voor berekening debiet. Rechthoekige duiker.

Gebied 1	Punt 1a	Punt 2a
peil_m nap	-0,75	-0,65
b.o.k._m nap	-1,75	-1,56
A_m2	3,4	1,8
y (diepte)_m	1	0,91
b (breedte)_m	3,4	2

Tijdens de lange droge periode aan het begin van de meting is het debiet zeer laag. De eerste twee regenbuien hebben nauwelijks invloed op de afvoer van de sloot, vanaf de derde bui begint de sloot te stromen. Vooral het debiet bij punt 1 lijkt binnen 24 uur te reageren op de regenbui. Het debiet van punt 2 stijgt gelijkmatiger.

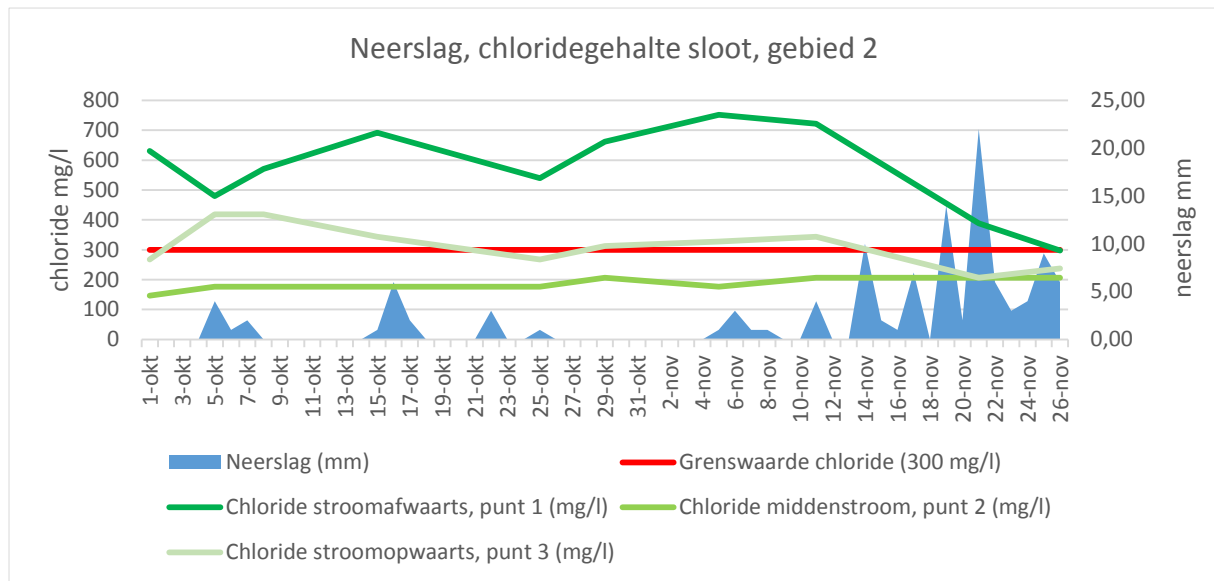


Figuur 15 Debiet en neerslag, gebied 1. De debieten onder 200 m³/uur zijn niet bruikbaar voor berekeningen omdat er een grote meetonnauwkeurigheid is met de lage stroomsnelheid. Het debiet is berekend door het hydraulisch oppervlak van tabel 4 te vermenigvuldigen met de gemeten stroomsnelheid.

Gebied 2

Dit deelgebied kent drie meetpunten, twee in de primaire sloot (1 en 3) en één in een secundaire sloot (2). Het verloop van de chloridegehaltes in de tijd wordt weergegeven in figuur 16. Het chloridegehalte van de secundaire sloot reageert nauwelijks op de weersomstandigheden en is gedurende de gehele meetperiode consistent zoet gebleven. Het debiet (fig. 17), stijgt wel na neerslag.

Het water van de primaire sloot, gemeten bij punt 1 en 3, is op het punt waar de sloot het gebied binnen komt nog redelijk zoet maar schommelt net onder of boven de grenswaarde. Na de aanhoudende regen in november is het water wel van voldoende kwaliteit. Het slootwater stroomafwaarts is een stuk zouter geworden en daalt na de aanhoudende regen nét tot de grenswaarde.



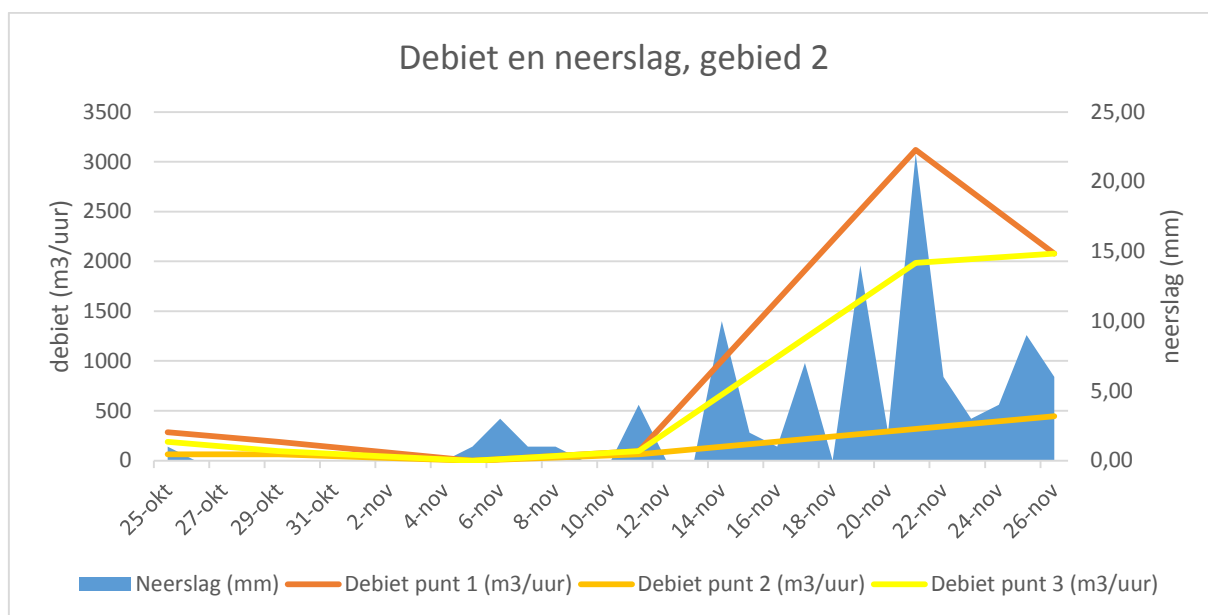
Figuur 16 Neerslag en chloride, gebied 2. Het chloridegehalte van de middenstroom is zeer constant en is gedurende de gehele meetperiode, ook tijdens de lange droge periode ruim onder de maximaal toegestane concentratie voor de Freshmaker.

Berekening oppervlakte doorsnede sloot:

Tabel 4 Berekening oppervlakte (A) doorsnede voor berekening debiet. Punt 1 en 3a zijn rechthoekige duikers, punt 2a is de trapeziumvorm van de sloot.

Gebied 2	Punt 1	Punt 2a	Punt 3a
peil_m nap	-0,75	-0,55	-0,75
b.o.k._m nap	-1,8	-1,13	-1,8
A_m2	2,6	0,9	2,6
y (diepte)_m	1,05	0,58	1,05
b (breedte)_m	2,5	0,65	2,5
x (van talud)		1,5	

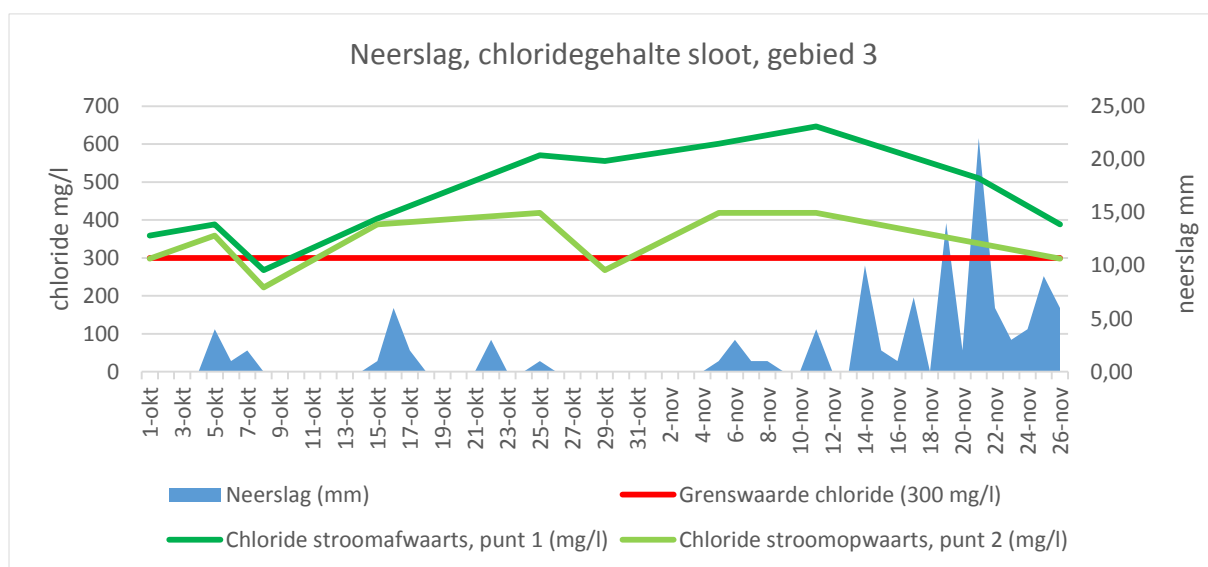
De debieten worden stroomafwaarts steeds groter, wat een normaal patroon is. Na de droge periode duurt het even voordat de sloten reageren op de neerslag. Daarna reageert het debiet snel op de neerslag. Het debiet van de zijslot (punt 2) heeft een lager debiet en reageert veel minder sterk op de neerslag dan de primaire watergang (punt 1 en 3).



Figuur 17 Debiet en neerslag, gebied 2. Het debiet is berekend door het hydraulisch oppervlak van tabel 5 te vermenigvuldigen met de gemeten stroomsnelheid.

Gebied 3

De sloot in gebied 3 is stroomafwaarts zouter geworden gedurende de meting. Er is een minder sterke daling van het chloridegehalte na neerslag dan in de andere gebieden. Het water is bijna de gehele meetperiode boven de grenswaarde, tot het langzaam daalt na de aanhoudende regenval.



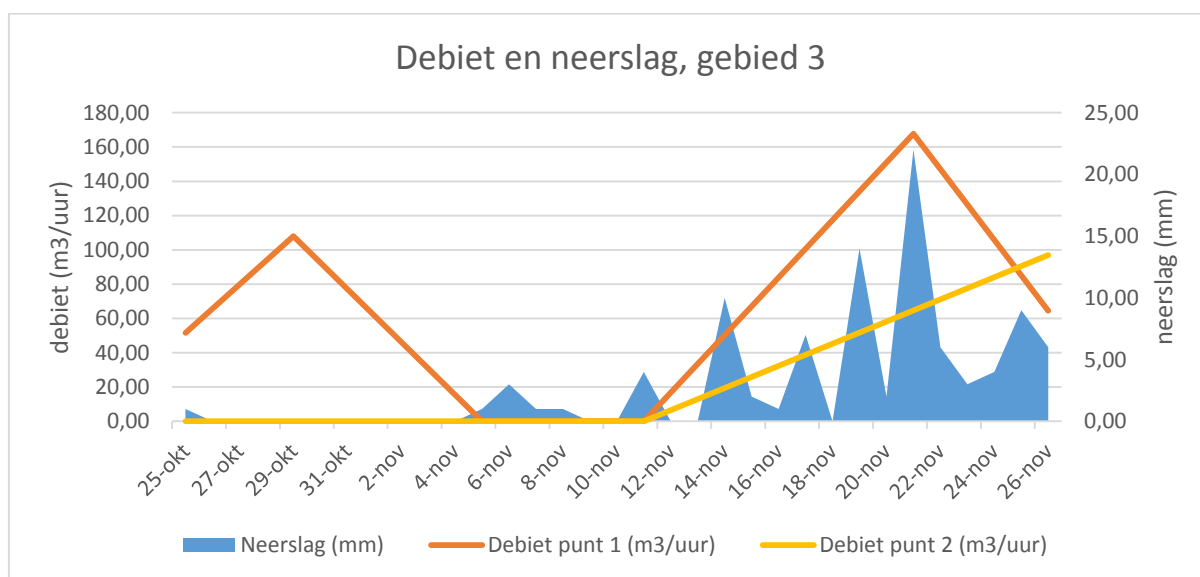
Figuur 18 Neerslag en chloride, gebied 3.

Berekening oppervlakte doorsnede sloot:

Tabel 5 Berekening oppervlakte (A) doorsnede voor berekening debiet.

Gebied 3	Punt 1a		Punt 2a
peil_m nap	-1,1		-1,05
b.o.k._m nap	-1,2		-1,23
A_m2	0,4		0,3
y (diepte)_m	0,2		0,18
b (breedte)_m	2,0		1,6
x (talud 1:x)	1,5		1,5

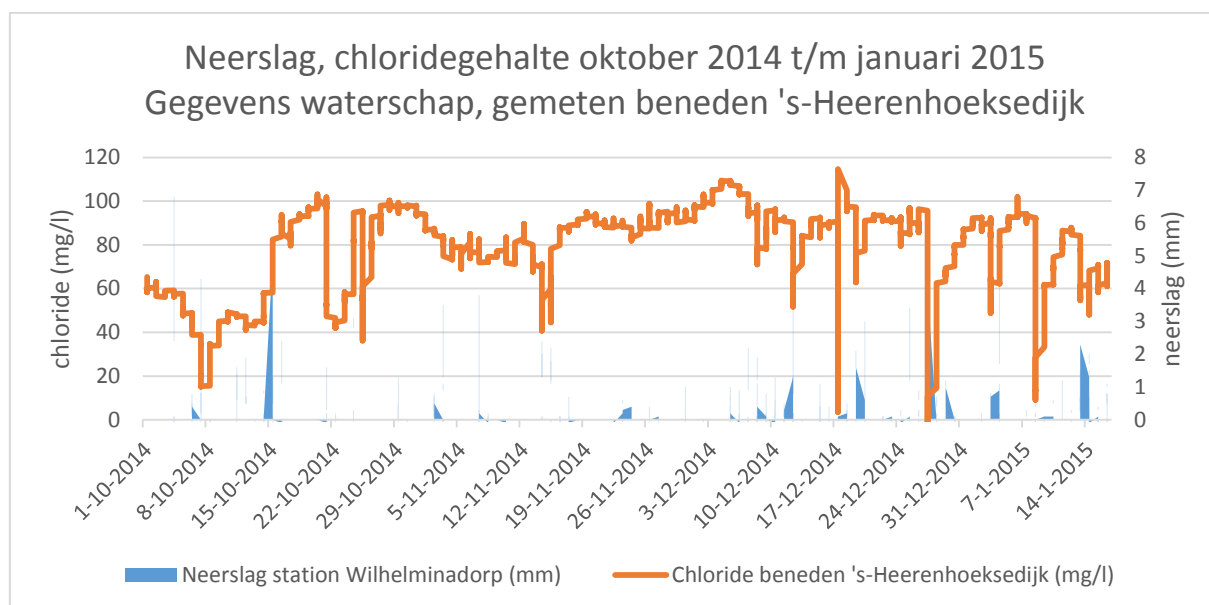
In de eerste twee weken van de meetperiode is er stroomafwaarts van de sloot nog stroming gemeten, bovenaan stond het water vrijwel stil. Na de eerste buien na lange droogte duurt het even voordat het debiet reageert. Daarna reageert het snel op de aanhoudende regen. De fluctuaties in de meting benedenstrooms zijn groot.



Figuur 19 Debiet en neerslag, gebied 3. De stroomsnelheden gemeten in dit gebied zijn laag, door de meeton nauwkeurigheid met lage stroomsnelheden zijn deze debiet berekeningen niet bruikbaar voor verdere berekeningen van beschikbaar water. Het debiet is berekend door het hydraulisch oppervlak van tabel 6 te vermenigvuldigen met de gemeten stroomsnelheid.

Gegevensreeks langdurige meting waterschap

In hetzelfde gebied is een jaar eerder een andere secundaire sloot langdurig en frequent gemeten door het waterschap. Deze sloot is zeer zoet gedurende het najaar tot in de winter.



Figuur 20 Meetgegevens van waterschap, secundaire sloot nabij 's-Heerenhoek

3.1.2 Water beschikbaar voor injectie volgens neerslagdata

Volgens de methode van het injecteren na neerslag (>10 mm in 24 uur) is gemiddeld per seizoen beschikbaar (neerslag minus verdamping):

Tabel 6 Schatting beschikbare neerslag per seizoen van november tot maart, gemiddelde van 10 jaar 2003-2013, gebruikte data in appendix (I)

Gemiddeld aantal dagen neerslag (>10 mm in 24 uur)	7
Gemiddelde neerslag per bui (>10 mm in 24 uur) in mm	16
Totaal beschikbare neerslag seizoen in mm (afgerond)	100

Op basis van alle neerslag is gemiddeld per seizoen beschikbaar (neerslag minus verdamping):

Tabel 7 Schatting alle neerslag per seizoen van november tot maart, gemiddelde van 10 jaar 2003-2013, gebruikte data in appendix (I)

Gemiddelde neerslag per dag	2
Gemiddelde neerslag per seizoen (120 dagen)	250
Totaal beschikbare neerslag seizoen in mm (afgerond)	250

Deze 100 en 250 mm zijn te beschouwen als het minimum en maximum van de range waarbinnen de gemiddelde beschikbaarheid zich ergens zal bevinden. Uiteraard zijn er per jaar verschillen, maar omdat een fresmaker in principe een permanent karakter krijgt, is in dit verband de gemiddelde beschikbare neerslag bepalend.

Tabel 8 Oppervlakte waarvan de neerslag afvoert naar de sloot.

	aanvoer_ha
gebied1	384
gebied2	256
gebied3	245

Tabel 9 Beschikbare neerslag op basis van alleen buien van meer dan 10 mm en alle beschikbare neerslag (seizoen van november tot maart, gemiddelde van 10 jaar 2003-2013)

Totaal beschikbare neerslag seizoen_m	0,1	0,25
Neerslag beschikbaar gebied 1_m3	410000	960000
Neerslag beschikbaar gebied 2_m3	273000	640000
Neerslag beschikbaar gebied 3_m3	261000	613000

3.2 Geohydrologische geschiktheid

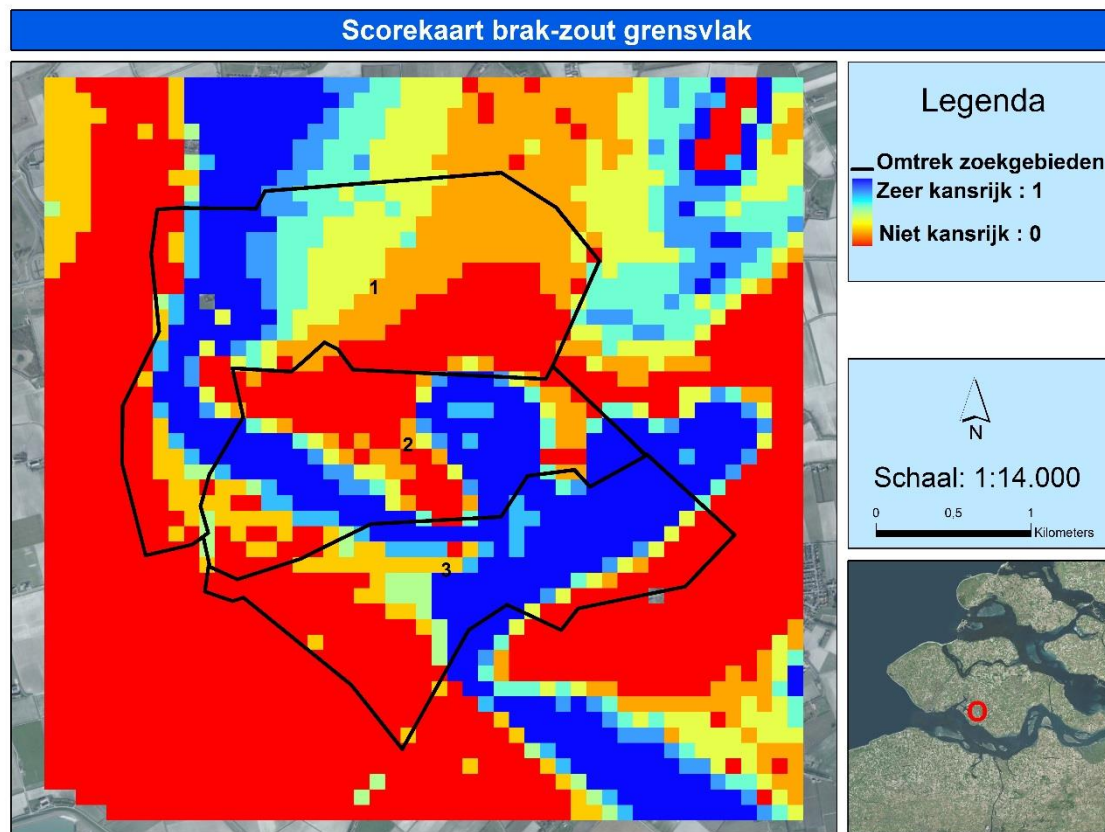
De volgende kaarten zijn voortgekomen uit het verwerken van bestaande kaartinformatie over de ondergrond. De bestaande kaartinformatie bestaat uit vlakken (voxels) van 100 bij 100 meter die een bepaalde waarde bevatten. Aan deze waarden zijn scores gegeven waardoor voor ieder vlak de geschiktheid voor een Freshmaker volgens de betreffende waarde wordt weergegeven. Dit is gedaan voor de drie verschillende criteria:

- De diepte van het brak-zout grensvlak (1000 mg/l chloride)
- Aanwezigheid van storende klei- of veenlagen in de Freshmakerzone
- Gunstige afsluitende klei- of veenlaag onder de Freshmaker

Vervolgens zijn de waarden van de drie verschillende scorekaarten met elkaar vermenigvuldigd om de uiteindelijke kanskaart te maken.

3.2.1 Brak-zoutgrensvlak

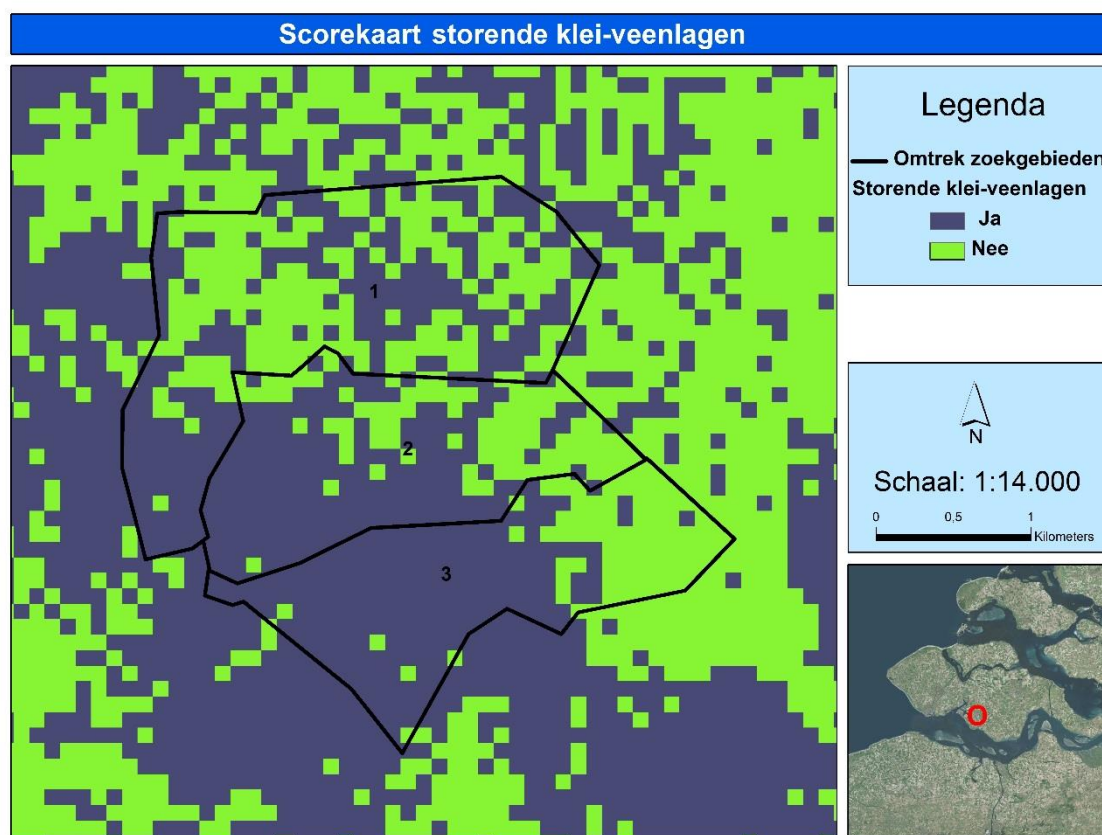
De gebieden die niet geschikt zijn worden rood weergegeven. De kleur rood kan zowel duiden op een te diep als te ondiep liggend brak-zoutgrensvlak.



Figuur 21 Scorekaart brak-zout grensvlak. Rood heeft een score van 0, en is ongeschikt voor een Freshmaker. De score loopt op tot 1, wat een blauwe kleur heeft.

3.2.2 Geen storende lagen in Freshmakertraject

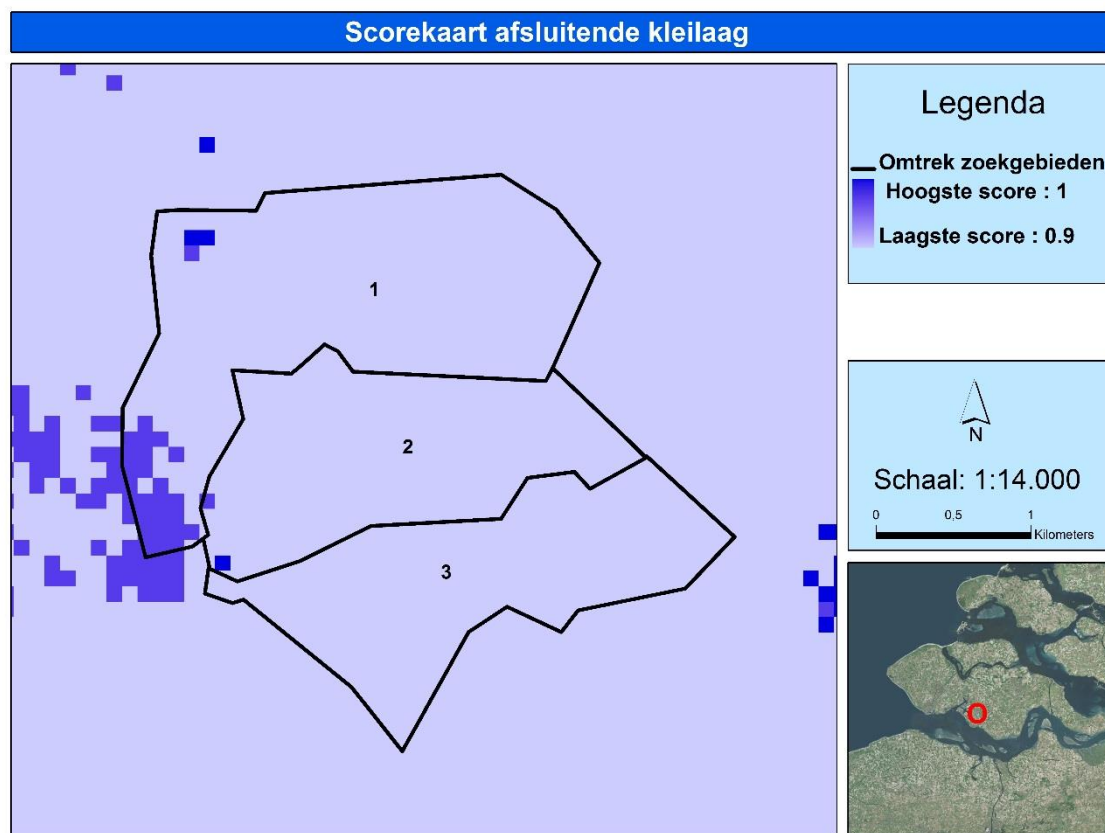
De groene vlakken tonen aan dat de ondergrond geschikt is voor een Freshmaker, in de paarse vlakken zitten 1 of meer lagen klei- of veen.



Figuur 22 Scorekaart storende lagen tussen 5 en 18 m-mv, Ja is een score van 0, Nee is een score van 1.

3.2.3 Scorekaart afsluitende kleilaag

Omdat dit criterium niet voorwaardelijk is voor een goede werking van een Freshmaker is de score voor het gebied wat niet aan het criterium voldoet 0,9. De score wordt hoger als er een slecht doorlatende laag direct onder de Freshmaker zit, zodat deze minder zout water hoeft te onttrekken. In het zoekgebied zijn er nauwelijks plekken die hoger scoren. Sterker nog, er is geen enkele overlap met de overige scorekaarten. Hierdoor is de maximale score van de eindkaart voor Freshmakergeschiktheid slechts 0,9 in plaats van 1. Er is daarom een extra kaart gemaakt met een aangepaste normalisatie, die deze score buiten beschouwing laat, zodat de maximale score wel 1 is. Bij een verkenning van overig Zeeland kan dit criterium wel toegepast worden omdat de hogere scores waarschijnlijk wel op plekken overlappen met de andere scorekaarten.

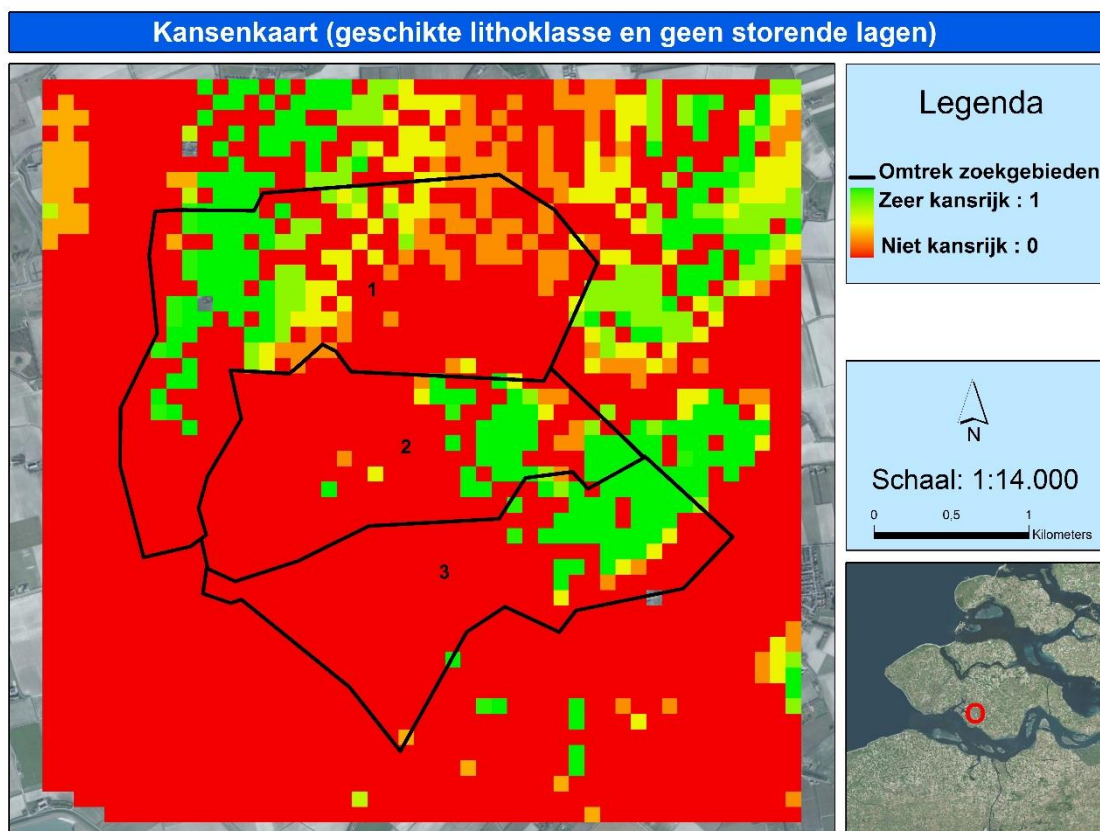


Figuur 23 Scorekaart slechtdoorlatende laag van klei of veen, direct onder de diepe put van de freshmaker (18-19 m-mv).

3.2.4 Kansenkaart Freshmaker

Omdat de gunstige diepere klei- of veenlaag geen overlap heeft in het zoekgebied van dit onderzoek is er een kansenkaart gemaakt zonder deze score. De uitslag is hetzelfde maar de maximale score is hierin wel 1.

In gebied 1 is er naar schatting 65 hectare aangemerkt als zeer kansrijk of kansrijk, voor gebied 2 zo'n 30 hectare en gebied 3 telt zo'n 40 hectare zeer kansrijk. Verder zijn grote delen van de deelgebieden ongeschikt voor een Freshmaker.



Figuur 24 Kansenkaart zonder criterium 3

De score ‘zeer kansrijk’ is alleen haalbaar als het brak-zoutgrensvlak tussen de 6 en 14 m-mv ligt. De bergingscapaciteit van de gebieden ligt daarmee tussen:

Tabel 10 Minimale bergingscapaciteit gaat uit van 14 tot 18 m-mv, de maximale bergingscapaciteit gaat uit van 6 tot 18 m-mv.

	Kansrijk oppervlak_m2	bergingscoëfficiënt (Olsthoorn, 1977)	Minimale berging_m3	Maximale berging_m3
gebied 1	650000	0,38	988000	2964000
gebied 2	300000	0,38	456000	1368000
gebied 3	400000	0,38	608000	1824000

Dit resulteert in bergingscapaciteiten per hectare van:

Tabel 11 Gemiddelde bergingscapaciteit per hectare kansrijk oppervlak

Minimale berging per hectare_m3	Maximale berging per hectare_m3
15200	45600

De vergelijking van de bergingscapaciteit van het gebied en het beschikbare neerslagoverschot geeft:

Tabel 10 Vergelijking bergingscapaciteit ondergrond met neerslagoverschot van 0,1 m in het scenario van een bui van (> 10 mm in 24 uur) en 0,25 m (totale neerslag in seizoen)

Minimale berging_m3	Maximale berging_m3	Beschikbare neerslag (0,1 m)	Vullingsgraad per jaar ingeval van minimale berging	Vullingsgraad per jaar ingeval van maximale berging
988000	2964000	410000	41%	14%
456000	1368000	273000	60%	20%
608000	1824000	261000	43%	14%
Minimale berging_m3	Maximale berging_m3	Totaal neerslagoverschot (0,25 m)	Vullingsgraad per jaar ingeval van minimale berging	Vullingsgraad per jaar ingeval van maximale berging
988000	2964000	960000	97%	32%
456000	1368000	640000	140%	47%
608000	1824000	613000	101%	34%

Uiteraard geven deze waarden een ordegrrootte aan van de vullingsgraad per jaar van een gebied. In de praktijk zal het water bijvoorbeeld niet exact in het gebied van 65 ha blijven. Ook kunnen deze waarden niet eenvoudig vertaald worden in beschikbaarheid, want een in de ondergrond opgeslagen kuub water zal doorgaans niet volledig kunnen worden teruggewonnen. Hoe voller de freshmaker, hoe lager de recovery. Uit de gegevens van de

pilot in Ovezande is overigens wel gebleken dat bij beperkt gevulde freshmaker nagenoeg een recovery van 100% kon worden behaald. De vermelde waarden van hierboven hebben dus een indicatieve waarde.

3.3 Watervraag

De vergelijking met de watervraag van de fruitteelt in Zeeland (tabel 14) met de theoretische opslagcapaciteit van de ondergrond in de deelgebieden toont aan dat bij een volledige opslag van het neerslagoverschot van 0,1 m, in een zeer droog scenario in 2050 (rekening houdend met de klimaatverandering) ruim de helft van het gebied kan worden voorzien in de watervraag.

Tabel 13 Potentieel oppervlak fruitteelt (perenbomen) dat kan worden voorzien in de waterbehoefte in een zeer droog scenario.

			Watervraag scenario perenbomen	
			Zeer droog (1872 m ³ /ha)	
	Oppervlak gebied_ha	Beschikbare neerslag (0,1 m)	Potentieel oppervlak fruitteelt_ha	Percentage van gebied
gebied 1	384	410000	219	57%
gebied 2	256	273000	146	57%
gebied 3	245	261000	139	57%

Tabel 11 Watervraag fruitpercelen jaar 2050 Zuid-Beveland (van de Ven, 2012).

Appelbomen		Watervraag scenario		
Fruitboom leeftijd	Percentage aanplant	Nat	Droog	Zeer droog
Eerste jaar	5%	231 m ³ /ha	483 m ³ /ha	777 m ³ /ha
Tweede jaar	5%	252 m ³ /ha	567 m ³ /ha	987 m ³ /ha
Volgroeide aanplant	90%	357 m ³ /ha	882 m ³ /ha	1470 m ³ /ha
Watervraag in m³ per hectare		345	846	1411

Perenbomen		Watervraag scenario		
Fruitboom leeftijd	Percentage aanplant	Nat	Droog	Zeer droog
Eerste jaar	2,5%	300 m ³ /ha	628 m ³ /ha	1010 m ³ /ha
Tweede jaar	2,5%	328 m ³ /ha	737 m ³ /ha	1283 m ³ /ha
Volgroeide aanplant	95%	464 m ³ /ha	1146 m ³ /ha	1911 m ³ /ha
Watervraag in m³ per hectare		457	1123	1872

4 Conclusie en discussie

4.1 Waterkwaliteit en kwantiteit

4.1.1 Veldmeting chloride:

Gebied 1

Op één van de locaties in gebied 1 zijn grote fluctuaties in het chloridegehalte gemeten. Gegevens van het waterschap van voorgaande jaren tonen soortgelijke pieken in het chloridegehalte op dezelfde locatie rond oktober. Een mogelijke verklaring is een (vertraagde) uitspoeling van zout uit de grond in het omringende gebied. Er is geen duidelijke relatie tussen regenbuien met lange tussenpozen en het chloridegehalte in de sloot. Na meerdere dagen van regenval daalt het chloridegehalte wel gestaag.

Gebied 2

In vergelijking tot de andere gebieden is er in gebied 2 ook een zijslot gemeten (secundaire watergang), punt 2, omdat deze zeer kansrijk (ruim onder de grenswaarde van 300 mg/l) was tijdens de proefmetingen. Het verschil van deze sloot ten opzichte van de andere is dat er geen water in stroomt van sloten stroomopwaarts. Het heeft een eigen aanvoergebied van ongeveer 30% van de oppervlakte van gebied 2. Het chloridegehalte van de sloot, gemeten bij punt 2, met een geheel eigen aanvoergebied reageert nauwelijks op de weersomstandigheden, zowel lange periodes van droogte en neerslag. Het chloridegehalte van deze sloot is als enige, gedurende de gehele meetperiode consistent zoet gebleven. Het debiet (fig. 18), stijgt wel na neerslag.

De andere sloten in de meting zijn primaire watergangen en ontvangen ook water stroomopwaarts van het gebied. De primaire watergang in gebied 2 vindt zijn oorsprong in het kreekruggengebied richting Ovezande. Dit is overigens dezelfde sloot als die waar stroomopwaarts de Freshmaker pilot het water van aftapt. Door de relatief hoge ligging van dat gebied is het aannemelijk dat er een sterke natuurlijke vorming van zoet grondwater is en daarmee beperkte kwel dat de sloot in stroomt. Op de plek waar de sloot het deelgebied instroomt schommelt het chloridegehalte rondom de grenswaarde. Waar de sloot het deelgebied verlaat is het gaandeweg zouter geworden, met grotere fluctuaties. Dit kan veroorzaakt worden doordat het deelgebied meer onder invloed staat van zout water dan het kreekruggengebied. Omdat het deelgebied meer klei bevat, en dus slecht doorlatend, is de natuurlijke vorming van zoetwaterlenzen minder sterk. Hierdoor is het zoute grondwater op minder grote diepte te vinden en zou het in de sloot kunnen opkwellen.

Gebied 3

De daling van het chloridegehalte in de sloot in gebied 3 is minder sterk dan in de andere gebieden. Het debiet in deze sloot is lager dan in de andere, wat erop duidt dat er minder aanvoerend gebied is waarvan de neerslag de sloot instroomt. Hierdoor is er minder zoet water beschikbaar om de sloot te verzoeten en is de daling van het zoutgehalte minder sterk.

Algemeen

Gedurende de meetperiode is in geen enkele primaire sloot het chloridegehalte stabiel onder de grenswaarde van 300 mg/l gebleven. Pas na een aantal dagen van regenval is het niveau tot onder die grens gedaald. De meting kon helaas niet worden voortgezet (de neerslag viel laat in

de beschikbare meetperiode van deze stage) om te zien of de daling na die tijd heeft doorgezet, maar de verwachting is dat dit wel het geval is.

Wat wel op basis van de waarnemingen kan worden geconcludeerd, is dat de debieten sterk reageren op neerslag. Een aannemelijke verklaring daarvoor is dat de sloten water ontvangen van een groter stroomgebied dan enkel het deelgebied.

De waterkwaliteit in termen van chloridegehalte is gedurende de meetperiode het grootste deel van de tijd te hoog geweest voor Freshmakerdoeleinden. De forse regenval die vooraf ging aan de meetcampagne en die aan het eind hebben wel voor een daling gezorgd, maar op basis van de meetdata kan niet geconcludeerd worden of het chloride stabiel onder de grenswaarde van 300 mg/l komt. Daarvoor was de meetperiode te kort. De historische gegevens van het waterschap van metingen in dezelfde sloten tonen ook regelmatig overschrijding van de grenswaarde in de winter. De meetfrequentie met 1 of 2 metingen per jaar is echter niet voldoende om te concluderen of een sloot stelselmatig te zout is.

De enige secundaire sloot die gemeten is, is wel gedurende de hele periode zoet genoeg gebleven om gebruikt te worden als waterbron voor een Freshmaker. In tegenstelling tot de andere (primaire) sloten stroomt er geen water van andere sloten in. Deze sloot wordt volledig gevoed door een klein eigen gebied en reageert qua chloridegehalte nauwelijks op de weersomstandigheden. Een logische verklaring voor het zoet blijven van de sloot is dat in het aanvoergebied weinig zoute kwel de sloot in stroomt doordat het gebied relatief hoger ligt dan waar de sloot naar toe stroomt. Bij de overige sloten is het aanvoergebied vele malen groter, waardoor de kans op lager gelegen plekken waar kwel de sloot in stroomt ook groter is.

Omdat de secundaire sloot van gebied 2 de enige gemeten sloot is waar het water stelselmatig zoet is, is er een vergelijkbare sloot gezocht waar gemeten is door het waterschap. Meetgegevens van het waterschap (fig. 20) van een andere secundaire sloot in de buurt van 's-Heerenhoek (niet inbegrepen in het meetprogramma van dit onderzoek) toont een vergelijkbare situatie. Hier blijft de sloot ook gedurende het hele jaar zoet genoeg voor Freshmakerdoeleinden. Op basis van deze gegevens lijken sloten met een geheel eigen aanvoergebied, veel kleiner dan het aanvoergebied van een primaire sloot, een stabielere chloridewaarde te behouden.

Dat secundaire sloten kansrijker zijn om geschikt water te leveren, wordt bevestigd door de gegevens van de secundaire sloot die langdurig gemonitord is door het waterschap maar ook door de pilot Freshmaker. De aanvoer van de pilotstudie in Ovezande is ook grotendeels afkomstig uit een secundaire sloot.

De metingen in het kader van dit onderzoek zijn vooral gericht op de primaire sloten omdat die het grootste debiet kennen en eventueel in de toekomst ook het water zullen leveren voor een Freshmaker. De metingen aan het begin van de meetcampagne waren veelbelovend in de zin dat de zoutgehaltes toen laag waren, maar daarbij dient vermeld te worden dat er vlak voor de start van de meetcampagne sprake was van forse neerslag die de sloten waarschijnlijk heeft verzoet. Nadien zijn de gehalten vrij snel opgelopen. Op basis daarvan en de (beperkte) historische gegevens lijkt het echter aannemelijk dat de primaire sloten in de winter vaker te veel zout bevatten om het water te kunnen gebruiken voor ondergrondse wateropslag.

Voor de overige chemische waterkwaliteit wordt uitgegaan van de gegevens van een sloot een paar kilometer verderop (aanvoer van de pilot Freshmaker), waar gemeten is dat vanaf

november de waterkwaliteit van sloten van voldoende kwaliteit is voor injectie. Dit is geen garantie dat er benedenstrooms niets veranderd is in de waterkwaliteit. Daarom is ter controle de historische meetgegevens van de desbetreffende sloten vergeleken met de Europese norm voor grondwaterlichamen (RBO-Schelde, 2014), maar er zijn te weinig meetgegevens van het waterschap beschikbaar, specifiek uit de winterperiode, om conclusies te kunnen trekken over de geschiktheid.

4.1.2 Veldmeting debiet:

Vanaf de start van de meting is het lang droog geweest en is er nauwelijks stroming gemeten. De debieten onder 200 m³/uur zijn niet bruikbaar voor berekeningen omdat er een grote meetonnauwkeurigheid is met de lage stroomsnelheid. Na de eerste regenbui heeft het een tijd geduurd voordat het water in de sloot ook harder ging stromen. Dit kan verklaard worden doordat, na de lange droogte, de bodem sterk onverzadigd was. Een deel van het regenwater wordt door de sponswerking van het sediment in de bodem vastgehouden. Pas nadat de bodem verzadigd is geraakt, kan de daarna volgende neerslag verder stromen en de sloot bereiken. Dit verklaart tevens waarom het chloridegehalte in veel sloten pas na een aantal buien is gaan dalen. In eerste instantie spoelt er namelijk zout uit de bodem dat in de droge periode door capillaire werking hoger in de bodem terecht is gekomen en dit zorgt voor een aanvankelijk wat zoutere drainage. De stijgende chloridegehalten in figuur 20, na de forse regeval op 15 oktober 2014, lijkt een illustratie van dit fenomeen.

Logischerwijs is in veel gevallen het debiet benedenstrooms groter dan bovenstrooms. De debieten van meetpunten in de zelfde sloot kunnen sterk verschillen omdat er gaandeweg ook andere sloten op uitkomen.

Ter verificatie van de meetgegevens zijn ook de debietdata van de automatische stuw, enkel aanwezig in gebied 1, bekeken. Deze stuw meet iedere 15 minuten het debiet. Helaas heeft er in de meetperiode een peilverlaging plaatsgevonden. Hierdoor is een volume slootwater wat eerst vast zat in de sloot achter een stuw vrijgelaten en is door de automatische stuw meegemeten in het debiet. Het is daarom geen representatief beeld van het werkelijke debiet en dus ongeschikt voor een vergelijking.

Voor gebied 3 zijn de debietmetingen onbetrouwbaar omdat vrijwel de gehele meetperiode de stroomsnelheid zo laag was dat er een grote meetonnauwkeurigheid in zat. Dit kan de grote fluctuaties in debiet verklaren.

4.1.3 Neerslagoverschot

In het scenario dat er eerst minimaal 10 millimeter regen moet vallen binnen 24 uur (om de sloot te verzoeten) om als beschikbaar gerekend te worden voor de Freshmaker is geen rekening gehouden met het feit dat er na deze bui nog meer regen kan vallen. Deze neerslag komt dan terecht in een voldoende zoete sloot en is dan wel beschikbaar voor de Freshmaker. Als de neerslag minder dan 10 millimeter is wordt het echter niet meegerekend in de totale beschikbaarheid per seizoen. In werkelijkheid is er daarom naar alle waarschijnlijkheid meer water beschikbaar dan 10 centimeter.

4.1.4 Bergingscapaciteit

Het volume bergingscapaciteit van de ondergrond is ruim voldoende in verhouding tot het beschikbare volume neerslagoverschot (van één jaar). Of dit neerslagoverschot ook volledig naar een freshmaker getransporteerd kan worden hangt voornamelijk af van de hoogteligging

van de Freshmaker ten opzichte van het aanvoergebied. Als de Freshmaker hoger ligt moet het water er naar toe gepompt worden. Dit verkleint de economische haalbaarheid van de Freshmaker. Deze situatie lijkt zich voor te doen in gebied 2 en 3, waar het geschikte oppervlak zich voornamelijk bovenstrooms van de sloot (en dus hoger gelegen) bevindt.

4.1.5 Watervraag

Omdat er op dit moment weinig fruittelers in het gebied zijn is de watervraag klein. Volgens Koen Zuurbier van het KWR, die voor voorgaand onderzoek fruittelers heeft geïnterviewd, is de reden dat er weinig fruittelers in het zoekgebied zijn niet zozeer een tekort aan zoet water. Eerder de historische opzet van fruitteelt waarna er weinig nieuwe plekken in gebruik zijn genomen. Dit betekent dat er potentieel veel meer oppervlak beschikbaar is voor de fruitteelt waarmee de watervraag in het gebied kan verhogen. Met de toekomstige klimaatscenario's is het mogelijk dat niet alleen de fruitteelt meer water nodig heeft. Ook andere akkerbouw, zoals nu vooral aanwezig in het gebied, kan problemen krijgen met verdroging en verzilting. Daarmee zal mogelijk ook voor andere vormen van landbouw een Freshmaker interessant worden.

4.2 Geohydrologische geschiktheid

De conclusies over dit onderwerp, dat overigens inhoudelijk wel het meest relevant was van dit onderzoek, moeten met enige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. Dit omdat de beschikbare data waarvan gebruik moest worden gemaakt niet de gewenste resolutie hadden. Niettemin laat de verrichte analyse wel enkele conclusies toe. Zo lijken de meest kansrijke locaties voornamelijk aan de randen van diepe zandige pakketten te liggen. Verder naar het midden van de zandige pakketten is de natuurlijke lensvorming door de infiltratie van regenwater al zo dik dat het voor de Freshmaker niet interessant is. Dichter in de buurt van de Westerschelde bevat de ondergrond te veel storende kleilagen om geschikt te zijn als opslagmedium. De meest geschikte plekken bevinden zich dus in het overgangsgebied tussen deze twee zones.

De gunstige afsluitende kleilaag vlak onder de Freshmaker komt in het zoekgebied van dit onderzoek nauwelijks voor. In de eindkaart hebben de gebieden met afsluitende laag nergens een overlap met de andere voorwaarden voor een Freshmaker. De score die wordt gegeven als het niet voor komt beperkt daarmee de hoogste score van de eindkaart voor Freshmakergeschiktheid.

Brak-zout grensvlak (fig. 21)

De gebieden die niet geschikt zijn worden rood weergegeven. De kleur rood kan zowel duiden op een te diep als te ondiep liggend brak-zoutgrensvlak. Nadere beschouwing van de data leert dat in het rode gebied ten zuidwesten van de deelgebieden het grensvlak te ondiep ligt. Twee factoren zijn hiervoor (modelmatig) verantwoordelijk, namelijk het feit deze gebieden dicht bij de Westerschelde liggen en bovendien de ondergrond meer klei bevat. Door het slechte infiltratiekarakter van klei vindt er weinig natuurlijke lensvorming plaats en wordt het zoute grondwater niet makkelijk weggeduwd. Het rode gebied ten noordoosten bevat daarentegen veel zand in de ondergrond en ligt verder weg van de zoute Westerschelde. De natuurlijke lensvorming verloopt hierdoor zo goed dat de zoetwaterlens zelfs dieper is dan de range waarin de Freshmaker kan werken. Deze diepe zoetwaterlenzen zijn daarom ook roodgekleurd en niet geschikt als locatie voor een Freshmaker. Het blauwe gebied dat als zeer

kansrijk wordt bestempeld, ligt tussen de twee rode in en is het overgangsg gebied van ondergronden met een slecht en een goed infiltratiekarakter. Het blauwe gebied volgt in grove lijnen het contour van de rand van het kreekruggengebied waar van nature al een sterke lensvorming is.

Storende kleilagen (fig. 22)

In deze scorekaart is een trapsgewijze score niet mogelijk. Omdat de kaartinformatie die gebruikt is voor de scorekaart met lagen werkt van 1 meter dik is het niet mogelijk om kleilagen van minder dan een halve meter wel toe te staan in het Freshmakertraject. Omdat een laag van een meter of meer de werking van de Freshmaker belemmert, moet dus een score van nul worden toegekend. De score van nul in deze kaart betekent automatisch dat de locatie in de eindkaart voor de Freshmakergeschiktheid als ongeschikt zal worden aangemerkt.

De gebruikte kaartinformatie bestaat uit lagen waarvan elk voxel (100x100m) is gebaseerd op het meest waarschijnlijke sedimenttype (lithoklasse). Elke laag representeert een laag van 1 meter dik. Dat een voxel is aangemerkt als klei betekent niet dat de laag ook daadwerkelijk 1 meter dik is maar het is wel zeer waarschijnlijk dat klei het grootste bestanddeel is van deze laag. We zijn er bij het formuleren van onze alternatieve methode voor het bepalen van de Freshmakergeschiktheid vanuit gegaan dat storende lagen van meer dan een halve meter dik een locatie onacceptabel maken voor een Freshmaker, maar we moeten nu concluderen dat de beschikbare data een te geringe resolutie hebben om een betekenisvol onderscheid te kunnen maken tussen nabijgelegen locaties. In feite is ook hier weer sprake van een binaire situatie: op basis van alleen dit criterium kwalificeert een locatie zich al dan niet als Freshmakergeschikt. Het is voor het nauwkeuriger bepalen van de Freshmakergeschiktheid zeer wenselijk over meer gedetailleerde lithografische dieptedata te beschikken.

Het is jammer dat de resolutie van de beschikbare data laag is. Dat betreft zowel de zoutgehaltes van het grondwater als de lithologie. Dat maakt dat de figuren 21, 22 en uiteraard ook 24 niet de gewenste resolutie hebben om de freshmakergeschiktheid nauwkeurig te bepalen. Echter, er is goede hoop dat de resolutie van deze data op korte termijn verhoogd zal kunnen worden, zodat de in dit onderzoek uitgewerkte methode zijn nut zal kunnen bewijzen voor de analyse van heel Zeeland.

4.3 Eindconclusie en aanbeveling

De meest kansrijke locaties liggen voornamelijk aan de randen van diepe zandige pakketten. De basisvraag voor dit onderzoek, namelijk of een gebiedsfreshmaker van 200 hectare realiseerbaar is in het studiegebied, kan niet een eenduidig bevestigend beantwoord worden. Dat neemt niet weg dat er wel degelijk op het oog kansrijke deelgebieden zijn te onderscheiden en het zeer wel mogelijk is dat met nieuwe zoutgegevens en meer verfijnde lithologische karakterisering de omvang van deze gebieden nog zal toenemen. Vooralsnog lijkt in gebied 1 65 hectare kansrijk, in gebied 2 slechts 30 hectare en in gebied 3 zo'n 40 hectare.

Het ondergrondse opslagvolume is ruim voldoende om het neerslagoverschot op te slaan. Het is onwaarschijnlijk dat het volledige neerslagoverschot beschikbaar is voor injectie in een Freshmaker, enerzijds omdat de primaire sloten vaak te zout zijn door de invloed van kwel, anderzijds omdat een gedeelte van het Freshmakergeschikte gebied hoger ligt dan de aanvoer. Dit maakt transport duurder en verkleint de economische haalbaarheid.

De aanbeveling is hierom gebruik te maken van secundaire sloten die de gehele aanvulperiode van de Freshmaker (november t/m februari) zoet genoeg blijven. De Freshmaker dient benedenstrooms van de sloot gesitueerd te worden om gebruik te maken van het passief transport van water naar de Freshmaker.

Bibliografie

- Anoniem. (2015, 08 20). *Zoet water*. Opgehaald van Provincie Zeeland:
<http://www.zeeland.nl/water/zoet-water>
- de Louw, P. (2013). *Saline seepage in deltaic areas*.
- Friocourt, Y., Kuijper, K., & Leung, N. (2014). *Deltafact | Zoutindringing*. Deltares.
- Hoogvliet, M., Stuyt, L., van Bakel, J., Velstra, J., de Louw, P., Massop, H., . . . Nikkels, M. (2014). *Methode voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten 'Fresh Water Options Optimizer'*. Stowa.
- Klimaat, K. v. (2009). *Vraag en aanbod van zoetwater in de Zuidwestelijke Delta, een verkenning*.
- Kokshoorn, M. (2015, 12 08). *Kwelder en kreekrug*. Opgehaald van Geologie van Nederland:
<http://www.geologievannederland.nl/landschap/landschapsvormen/kwelder-en-kreekrug>
- Olsthoorn, T. (1977). In Dutch sand formations effective porosity equals total porosity with respect to advection in saturated groundwater flow. *H2O, Vol.10, Nr.5*, 118-120.
- Oude Essink, G., van Baaren, E., Zuurbier, K., Velstra, J., Veraart, J., Brouwer, W., . . . Schroevers, M. (2014). *GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening*.
- RBO-Schelde. (2014). *RBO-Scheldestroomgebied, Op weg naar schoon water, stroomgebiedbeheerplan Schelde 2016-2021*.
- van Baaren, E. (2015, 09 14). *FRESHEM*. Opgehaald van Deltares:
<https://publicwiki.deltares.nl/display/ZOETZOUT/FRESHEM>
- van Baaren, E., & Harezlak, V. (2011). *Zoetwatervoorziening Schouwen-Duiveland*. Deltares.
- van de Ven, R. (2012). *Ondergrondse waterberging in Zuid-Beveland, onderzoek naar de geschikte locaties voor de Freshmaker ten behoeve van de zoetwatervoorziening in de fruitteelt*. Vrije Universiteit Amsterdam.
- van den Akker, J. (2005). *Maaiveldddaling en verdwijnende veengronden*. Alterra WageningenUR.
- Zeeland, P. (2013). *Het ontstaan van Zeeland*.
- Zuurbier, K., Kooiman, J.-W., Groen, M., Maas, B., & Stuyfzand, P. (2015). Enabling successful aquifer storage and recovery of freshwater using horizontal directional drilled wells in coastal aquifers. *Journal of Hydrologic Engineering*, B4014003-1.
- Zuurbier, K., Paalman, M., van der Linde, S., de Gelder, D., & Meeuwse, P. (2015). *Innovatieve putconcepten maken zoetwaterreservoir in verzilte ondergrond mogelijk*. H2O-Online.

Appendix I

Neerslag in mm:

datum	2003- 2004	2004- 2005	2005- 2006	2006- 2007	2007- 2008	2008- 2009	2009- 2010	2010- 2011	2011- 2012	2012- 2013
1-11	69	-5	-8	33	-3	41	86	-5	1	47
2-11	98	51	66	30	-2	-5	29	-3	-9	30
3-11	69	5	-12	100	-5	-2	40	12	-5	17
4-11	33	-5	1	-9	-5	-4	77	-5	-12	115
5-11	5	-7	-10	-5	12	1	125	20	14	18
6-11	209	24	12	-7	-1	-8	15	141	-3	38
7-11	1	-7	-7	-4	25	1	43	-2	-1	6
8-11	234	14	-7	13	67	-9	-9	6	-4	-1
9-11	19	-9	1	15	107	41	-8	66	3	-4
10-11	115	43	4	-7	73	147	0	59	-9	85
11-11	-8	-4	-3	97	30	165	10	149	-3	-5
12-11	24	23	8	-6	69	-8	9	261	-7	4
13-11	54	10	-6	42	58	-7	6	94	-2	5
14-11	0	10	-8	19	-7	2	31	76	-3	-9
15-11	-6	-1	53	0	-7	-4	10	-7	-7	-2
16-11	-3	-5	33	51	-5	3	-2	-7	-7	-2
17-11	-3	6	77	-5	-6	-4	-4	-3	-5	13
18-11	-3	382	29	23	-6	7	-4	-3	-5	13
19-11	5	36	-4	7	17	1	-7	-1	-6	-2
20-11	-3	-4	0	69	31	5	21	-3	-4	-6
21-11	39	3	3	20	31	26	12	-2	-2	9
22-11	-5	2	-4	220	-6	57	63	-2	-5	-7
23-11	54	2	0	58	0	171	195	33	-3	34
24-11	-7	-5	60	7	-3	36	27	186	-5	32
25-11	27	-5	176	50	10	28	38	56	0	1
26-11	-6	101	57	-4	26	-4	275	6	-5	-1
27-11	-6	0	-3	-6	5	-2	62	8	9	-5
28-11	33	49	73	-4	0	-2	132	-4	-6	30
29-11	-3	-2	137	-6	19	-4	10	3	-2	32
30-11	-1	-3	-2	-4	88	19	4	5	-5	2
1-12	65	-1	-4	2	76	5	-6	0	317	93
2-12	26	-4	1	42	89	47	41	42	45	92
3-12	-5	-4	44	35	69	-3	160	-4	44	78
4-12	55	-2	125	67	5	36	57	52	8	9
5-12	28	-2	87	20	10	-1	107	22	11	107
6-12	-1	-3	44	-4	128	19	43	-4	33	24
7-12	0	-1	43	159	49	-6	19	-2	32	97
8-12	-1	-2	-4	141	82	-1	18	0	50	-6
9-12	-4	-4	-2	-5	33	104	41	40	0	117

10-12	-2	-1	-4	-5	46	72	27	3	-6	77
11-12	-3	-1	-4	92	10	40	-3	-3	13	-1
12-12	-1	-1	-2	24	-5	-2	-4	6	3	-4
13-12	-2	0	-2	20	-3	-3	-4	2	65	2
14-12	-2	-1	1	-3	-3	-4	-4	-2	91	81
15-12	77	-2	-2	-3	-4	-1	-4	2	186	11
16-12	24	13	67	80	-4	-1	-2	166	328	11
17-12	4	172	60	1	-2	4	8	108	25	27
18-12	-4	4	30	-3	-3	1	-3	75	88	58
19-12	-4	-4	16	-3	-4	34	1	54	77	-3
20-12	-2	-4	-2	-2	-2	37	63	-4	29	96
21-12	2	8	7	-1	-2	0	9	24	23	-3
22-12	216	50	12	-3	-6	-2	16	-3	-4	214
23-12	11	-5	-1	-1	-3	-1	-4	-1	64	86
24-12	10	59	-2	-2	-2	-1	39	-2	17	55
25-12	16	9	2	-1	13	-1	152	-2	-1	81
26-12	69	-4	11	0	-1	-4	-5	3	-2	40
27-12	153	-5	-2	-1	0	-4	13	-2	-1	65
28-12	5	92	-3	60	-5	-4	5	8	-2	26
29-12	258	-1	1	-3	28	-4	100	0	153	14
30-12	125	1	118	63	3	-5	93	-4	14	14
31-12	-1	36	19	10	1	-4	2	0	8	31
1-1	77	79	-1	27	-2	0	-4	10	115	50
2-1	76	8	-3	45	-4	8	48	8	5	1
3-1	38	15	31	5	7	-3	3	17	151	3
4-1	-2	117	6	13	7	0	68	-4	21	7
5-1	7	34	-2	9	63	27	-3	2	54	1
6-1	10	-12	-4	73	-4	-4	-5	170	10	-4
7-1	-3	-14	-4	3	2	-1	-5	62	25	-1
8-1	-5	-7	-3	49	-2	-2	-5	61	-4	-2
9-1	-4	-8	-5	-4	-5	1	0	-5	21	31
10-1	-1	-12	-3	34	31	-4	-3	-4	-2	-3
11-1	-4	1	23	19	58	-5	-2	33	6	12
12-1	-4	-8	-2	2	4	10	-2	253	0	-5
13-1	9	66	-2	16	1	21	3	179	-6	-5
14-1	-2	-12	-6	-7	1	-3	-4	59	-5	66
15-1	22	1	-6	-6	59	-3	-1	-3	-5	6
16-1	-6	-10	-4	37	-5	-2	79	-5	-5	-5
17-1	-6	12	88	74	23	8	6	5	-5	-3
18-1	-2	-7	-1	125	32	32	-2	92	23	-3
19-1	19	-7	3	21	29	53	9	8	103	-3
20-1	60	1	25	20	-2	2	-4	-8	25	32
21-1	11	4	-5	13	34	-3	-4	-3	10	1
22-1	7	-3	-1	34	10	54	-4	1	-7	-4
23-1	6	8	-5	-4	2	155	109	7	-6	-5
24-1	-6	-6	-5	13	10	-2	4	1	12	-5

25-1	13	-8	2	-6	-6	-4	-1	29	14	-3
26-1	31	53	-2	11	-7	-2	-5	16	33	25
27-1	1	33	-1	19	-6	-5	53	-6	-6	66
28-1	48	77	-6	-2	-2	-4	30	-6	3	-4
29-1	96	29	-7	4	-2	-6	91	-7	-2	121
30-1	157	-4	-5	-3	17	-8	15	-2	3	105
31-1	22	0	-4	-3	29	-7	18	-1	-7	1
1-2	40	3	-2	-3	8	-5	8	2	-6	127
2-2	15	-4	-1	-4	42	31	125	-1	-6	4
3-2	-5	0	-1	-9	-7	-3	0	2	31	26
4-2	50	60	-3	-5	5	-1	1	0	-4	-2
5-2	72	176	6	6	43	23	16	-2	-4	47
6-2	1	57	-2	73	27	25	-4	-4	-7	37
7-2	13	-3	-2	-7	-6	32	0	-5	-6	39
8-2	-2	73	61	75	-10	-3	5	-9	-4	13
9-2	0	137	33	-6	-11	155	-6	-5	-4	29
10-2	-6	-2	-7	30	-10	39	19	69	-8	-8
11-2	-7	-4	-4	97	-11	7	-3	71	-7	-1
12-2	-2	1	139	70	-11	5	-9	50	9	-2
13-2	-9	44	-1	-8	-3	-1	-5	-5	66	-7
14-2	-9	125	0	132	-1	-10	14	8	11	42
15-2	-3	87	105	-12	-10	30	4	11	25	-8
16-2	-9	44	18	-9	-11	36	-7	-8	-6	-4
17-2	-10	43	79	-7	-11	30	1	-11	13	-3
18-2	-10	-4	-4	-4	-12	-7	6	-2	68	-11
19-2	-11	-2	14	-3	-4	11	9	23	-9	-8
20-2	-11	-4	58	-5	-7	-8	-8	-3	-10	-11
21-2	-11	-4	6	30	-5	-8	-3	-5	-11	-9
22-2	-11	-2	8	-10	-4	-4	124	-10	0	-7
23-2	-13	-2	-7	-8	-6	5	21	64	-4	-6
24-2	-12	1	-10	36	32	-5	37	10	-7	22
25-2	-14	-2	-11	69	-8	-3	75	-4	-14	2
26-2	-11	67	-7	14	41	-9	2	81	-4	-4
27-2	-12	60	23	79	-16	17	1	-8	-5	-1
28-2	30	30	77	-9	-5	-8	204	15	1	-4