

COASTAR

VERKENNING STRATEGISCHE BRAKWATERWINNING



ALLIED WATERS®



Rapport

COASTAR. Verkenning strategische brakwaterwinning

KWR2018.028

Deltares rapport 11200070-001-BGS-0002

Mei 2018

OPDRACHTGEVER

TKI Watertechnologie

KWALITEITSBORGER(S)

Prof. dr. P.J. (Pieter) Stuyfzand (KWR)

Dr. ir. W.J. (Wim) de Lange

AUTEUR(S)

Dr. S.F. (Sija) Stofberg (KWR)

Dr. K.G. (Koen) Zuurbier (KWR)

Dr. ir. G. (Gijs) Janssen (Deltares)

Dr. G.H.P. (Gualbert) Oude Essink (Deltares)

Dr. E.S. (Esther) Van Baaren (Deltares)

Ing. A.M.H. (Toon) Boonekamp (Arcadis)

W. (Wouter) De Buck MSc (Arcadis)

J. (Jeroen) Hulzebos MSc (Arcadis)

M. (Marc) Schetters MSc (Arcadis)

G. (Gertjan) Zwolsman (Dunea)

VERZONDEN AAN

Projectpartners TKI COASTAR

STATUS

Dit document is openbaar en is uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Deze activiteit is mede gefinancierd met PPS-financiering uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat en de resultaten zijn openbaar.

JAAR VAN PUBLICATIE
2018

MEER INFORMATIE

E info@coastar.nl
I www.coastar.nl



ALLIED WATERS®



provincie HOLLAND
ZUID



Hoogheemraadschap van
Delfland



COASTAR® is een initiatief van Allied Waters, Arcadis, Deltares en KWR en wordt ondersteund door bedrijfsleven en overheden in laag Nederland.

© Allied Waters, Arcadis, Deltares, KWR

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
mei 2018	Dr. G.H.P. (Gualbert) Oude Essink		Dr. ir. W.J. (Wim) de Lange		Drs. M.J.M. Kuijper	
	Dr. ir. G. (Gijs) Janssen					
	E.S. (Esther) van Baaren					

Samenvatting

Brakwater kan een zeer geschikte bron van zoetwater zijn door de afwezigheid van antropogene verontreinigingen en beschikbaarheid van kosteneffectieve ontziltingstechnieken. Als brakwater op strategische locaties kan worden gewonnen kan daarnaast verzilting van stroomafwaarts gelegen gebieden (landinwaarts en/of oppervlaktewater polders) worden tegengegaan. Voor de locaties Solleveld (wingebied Dunea langs de kust) en Polder de Noordplas (diepe polder binnen Rijnland, gekenmerkt door brakke kwel) is modelmatig benaderd wat de hydrologische en economische effecten zouden zijn van brakwaterwinning in combinatie met drinkwaterbereiding.

Hydrologisch gezien blijkt brakwaterwinning zowel langs de kustlijn als in diepe polders interessant. Naast het leveren van een betrouwbare grondstof voor drinkwaterbereiding (ordegrootte bij de bestudeerde casussen: 2-6 miljoen m³ drinkwater per jaar, te produceren uit water met een constante tot licht oplopende zoutconcentraties), leveren de winningen als extra baten:

1. Een significante toename in voorraad zoet grondwater door diepe interceptie en bevordering infiltratie aan maaiveld: zowel langs de kustlijn als in diepe polders bij strategische plaatsing van de onttrekkingsbronnen. Ordegrootte: tientallen Mm³ in 50 jaar. Nader onderzocht dient te worden welk deel hiervan winbaar is om extra capaciteit te bieden aan Dunea.
2. Aanpassingen in het stromingspatroon in de omgeving, met positieve impact:
 - a. Het voorkómen van zoutwaterintrusie (Solleveld)
 - b. Sterk reduceren van de zoutvracht richting oppervlaktewater (tot zo'n 55%, Polder de Noordplas).

De positieve effecten zijn het grootst als het verwijderde zout (brijn) na ontzilting wordt afgevoerd naar zee. Wanneer het brijn geloosd wordt in de ondergrond, zal de zoutvracht naar verloop van tijd weer toenemen en is de uiteindelijke reductie van de zoutvracht lager, met name bij een ondiepe lozing (op basis casus Polder de Noordplas).

De kosten voor het aanleggen, inrichten, en bedrijven van de brakwaterwinning inclusief zuivering tot drinkwater en het afvoeren van concentraat zijn eveneens berekend. Uit deze berekeningen blijkt het volgende:

- Het produceren van drinkwater uit brakwater incl. afvoeren van brijn is mogelijk tegen een kostprijs van ca. 0.9 tot 1.3 euro/m³ (bij 0.7% rente);
- De goedkoopste cases doen zich voor wanneer het brijn in de bodem wordt geretourneerd of dichtbij op zee geloosd wordt;
- Bij een hogere rente, neemt de kostprijs toe: naar 1,0 tot 1,7 euro/m³ bij 3.0% rente;
- Verlaging van de kostprijs met ca 20% is haalbaar wanneer het brakke water verder wordt ingedikt en meer drinkwater per onttrokken m³ brakwater wordt onttrokken

Bij elkaar genomen lijkt het winnen van brakwater vanuit hydrologisch/milieutechnisch, kostentechnisch en bedrijfsmatig oogpunt een mogelijk interessante optie, die nadere uitwerking rechtvaardigt. Ook is uitwerking in andere gebieden zoals Meijendel (grootste wingebied Dunea, deels bedreigd door verzilting) en de Middelburg-Tempelpolder (brakke kwel, hoge stijghoogtes) aan te bevelen.

Inhoud

Samenvatting	2
1 Inleiding	5
1.1 Gebruik van brakwater, bescherming tegen verzilting stroomafwaarts	5
1.2 Opgaven Dunea en brakwaterwinning	5
1.3 Leeswijzer	5
2 Verkenning mogelijke locaties brakwaterwinning COASTAR	7
2.1 Verkenning kuststrooklocaties	7
2.2 Verkenning polders met (brakke) kwel	7
2.3 Vergelijking en keuze verkenningslocaties	10
2.4 Alternatief: lozing brijn in de ondergrond?	11
3 Verkenning brakwaterwinning Solleveld	12
3.1 Eerder onderzoek (Huizer et al., 2016)	12
3.2 Achtergronden bij Solleveld	14
3.3 Mogelijke opzet COASTAR Dunea: Solleveld	15
3.4 Opzet nader onderzoek middels modellering: Solleveld	17
3.5 Uitkomsten nader onderzoek middels modellering: Solleveld	18
4 Verkenning brakwaterwinning in de Polder de Noordplas	28
4.1 Brakke kwelproblematiek in de Polder de Noordplas	28
4.2 Eerder onderzoek naar afvang kwelwater Polder de Noordplas	31
4.3 Verkenning ontwerp brakwaterwinning Polder de Noordplas	32
4.4 Opzet nader onderzoek brakwaterwinning Polder de Noordplas	34
4.5 Uitkomsten nader onderzoek middels modellering	36
5 Verkenning mogelijkheden en opties voorlopig ontwerp brakwaterwinning	52
5.1 Inleiding	52
5.2 Solleveld: aannames	52
5.3 Noordplaspolder: aannames	55
5.4 Scenario's	61
5.5 Aannames zuivering	62
6 Raming kosten drinkwaterproductie uit brakwaterwinning	63
6.1 Uitgangspunten kostenraming	63
6.2 Resulterende kosten en prijs per geproduceerde m ³	65

6.3	Systeemoptimalisatie (verschillende recovery efficiencies)	68
6.4	Mogelijke kostenbesparing solleveld i.v.m. vervallen noodzaak ontharding	70
7	Beschouwing lozing concentraat in bodem	72
7.1	Inleiding	72
7.2	Toetsing aan gestelde criteria eventuele ontheffing	72
8	Conclusies en aanbevelingen	74
8.1	Conclusies	74
8.2	Aanbevelingen vervolg polder de Noordplas	75
8.3	Aanbevelingen brakwaterwinning duingebied dunea	76
9	Referenties	78

1 Inleiding

1.1 GEBRUIK VAN BRAKWATER, BESCHERMING TEGEN VERZILTING STROOMAFWAARTS

Brakwater kan worden ontzilt middels omgekeerde osmose (RO) waarmee een robuuste, hoogwaardige zoetwaterstroom beschikbaar komt. Dit zoetwater kan als bron dienen voor hoogwaardige toepassingen, zoals drinkwater. Daarnaast kan de winning van brakwater gunstige effecten hebben voor de omgeving, bijvoorbeeld door interceptie van zoutwater stromend richting stroomafwaarts gelegen locaties. Dit kan bijvoorbeeld gaan om dieper grondwater landinwaarts ('saltwater intrusion'), maar ook om het oppervlaktewater of de wortelzones in laaggelegen polders.

1.2 OPGAVEN DUNEA EN BRAKWATERWINNING

Dunea is het drinkwaterbedrijf van Den Haag en omgeving, en is sterk afhankelijk van rivierwater (vanuit Bergambacht) en de duinen (buffering, zuivering). Bij Bergambacht wordt het rivierwater gezuiverd, waarna het naar de duinen wordt getransporteerd om daar gebufferd en gezuiverd te worden. De opgave vanuit het drinkwaterbedrijf is:

- Enerzijds zoekt Dunea een continu aanbod van enkele $\text{Mm}^3 \text{j}^{-1}$ aan extra water in verband met een prognose van toenemende watervraag
- Anderzijds zoekt Dunea de strategische voorraad vergroten in verband met de niet-continue kwaliteit van het rivierwater, die tot innamestops kan leiden (Stuyfzand & van der Schans 2018). Dit zou kunnen bestaan uit extra opslag in de zoetwaterbel in de duinen (20-30 Mm^3 opslag). Hierbij zou gebruik kunnen worden gemaakt van 20 $\text{Mm}^3 \text{j}^{-1}$ aan vergunde diepinfiltratie die momenteel niet gebruikt wordt. Het is niet zeker of binnen deze vergunning ook daadwerkelijk 20 $\text{Mm}^3 \text{j}^{-1}$ gerealiseerd kan worden
- Het voorkomen van verzilting van de winvelden in het duin bij een stijgende zeespiegel.

De eerste vraag zou gekoppeld kunnen worden aan een continue winning van (brak) water in een polder of langs de kustlijn. Voor deze vraag gaat de voorkeur uit naar polders waarin overlast van (brakke) kwel wordt ervaren, zodat ook een 'bovengronds probleem' (verzilting, doorspoelen) kan worden opgelost. De tweede vraag van Dunea zou gekoppeld kunnen worden aan de winning van brakwater in het duingebied, in combinatie met (extra) infiltratie in het duin, waardoor de zoetwaterbel vergroot wordt.

Bij de ontzilting van brakwater komt naast een zoetwaterstroom ook zout concentraat vrij. Behandeling (ontzilting) van het gewonnen brakwater vindt daarom bij voorkeur plaats in de buurt van RWZI's die lozen op de Noordzee (via leidingen), zodat het zoute concentraat op zee geloosd kan worden.

1.3 LEESWIJZER

Het COASTAR (COastal Aquifer Storage And Recovery) concept bestaat uit oplossingen voor grootschalige zoetwatervoorziening door slim gebruik van de ondergrond. Binnen het TKI COASTAR project wordt onderzocht hoe deze oplossingen gebruikt kunnen worden voor de regio Rotterdam - Westland - Den Haag.

In dit rapport worden de resultaten van *COASTAR. Verkenning brakwaterwinning* gepresenteerd, waarin de winning van brakwater voor Dunea ter bereiding van drinkwater is verkend voor verschillende locaties in deze regio. Hiervoor wordt gekeken naar één locatie (Solleveld) langs de kustlijn en één locatie in een diepe polder (Noordplaspolder) met brakke kwel.

Dit rapport vormt een bouwsteen voor het Masterplan COASTAR regio Rotterdam – Westland – Den Haag.

In Hoofdstuk 2 volgt een verkenning van mogelijk gunstige locaties om brakwater te winnen. Daarna wordt voor twee locaties (Solleveld, Hoofdstuk 3 en Polder de Noordplas, Hoofdstuk 4) verkend op welke wijze het brakwater gewonnen kan worden en wat daarvan de effecten zijn op de waterkwaliteit. In Hoofdstuk 5 worden vervolgens mogelijkheden verkend betreffende de zuivering en het transport van het gewonnen water, waarna voor een selectie van mogelijkheden de kosten worden ingeschat (Hoofdstuk 6).

2 Verkenning mogelijke locaties brakwaterwinning COASTAR

2.1 VERKENNING KUSTSTROOKLOCATIES

De winning van brakwater in de kuststrook zou kunnen bijdragen aan het vergroten van de zoetwaterbel als strategische voorraad. Daarnaast zou deze winning verzilting van bestaande winningen (zoals Meijndel) kunnen voorkomen met het Freshkeeper principe: het winnen van brak/zout grondwater onder (verziltende) zoete winningen.

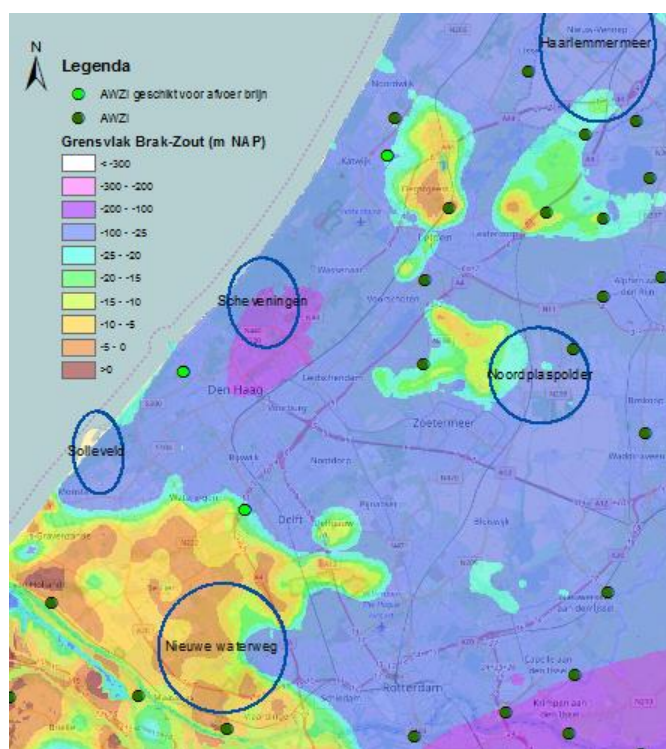
Een gunstige locatie zou een gebied zijn waar al waterwinning plaats vindt en waarvan goede modellen beschikbaar zijn. Dunea geeft aan dat twee diepe winningen bij pompstation Scheveningen (zuidzijde Meijndel) last hebben van verzilting, waardoor deze locatie interessant is voor een brakwaterwinning (interceptie). Van dit gebied is een Triwaco model beschikbaar, dat helaas ongeschikt is omdat dichtheidsverschillen daarin niet worden meegenomen. Daarnaast is het PZH model beschikbaar, maar dit is vrij grof gediscrètiseerd en zou verfijnd moeten worden.

Winveld Solleveld (bij Monster) van Dunea is mogelijk geschikt als alternatief voor beoordeling van het effect van brakwaterwinning langs de kustlijn. Van dit gebied is een fijn gediscrètiseerd grondwatermodel beschikbaar. Dit model is ontwikkeld met als doel de ontwikkeling van de zoetwaterlens als gevolg van de aanleg van de Zandmotor te onderzoeken binnen het programma NatureCOAST (Huizer et al., 2016, 2018).

2.2 VERKENNING POLDERS MET (BRAKKE) KWEL

In West-Nederland zijn diverse polders met brakke kwel aanwezig. Brakke kwel komt voor in gebieden waar kwel (opwaartse grondwaterstroming) plaatsvindt en tevens het brakke grondwater relatief ondiep ligt. Winning (interceptie) van brakwater kan in dit soort gebieden de kweldruk en dus de vervuiling met zoutwater verminderen (De Louw et al., 2007). Lozing van het afgevangen zoute water (eventueel na productie van zoetwater en indikking van zoutwater via RO) is hierbij een aandachtspunt. Het is gunstig als een dergelijke brakwaterwinning niet ver ligt van een plek waar het zoute concentraat na ontzilting geloosd kan worden. Om die reden wordt de afstand tot de AWZI's Katwijk aan Zee, Houtrust (Den Haag) en Harnaspolder (Delft) en de ligging ten opzichte van transportleidingen meegenomen in de verkenning.

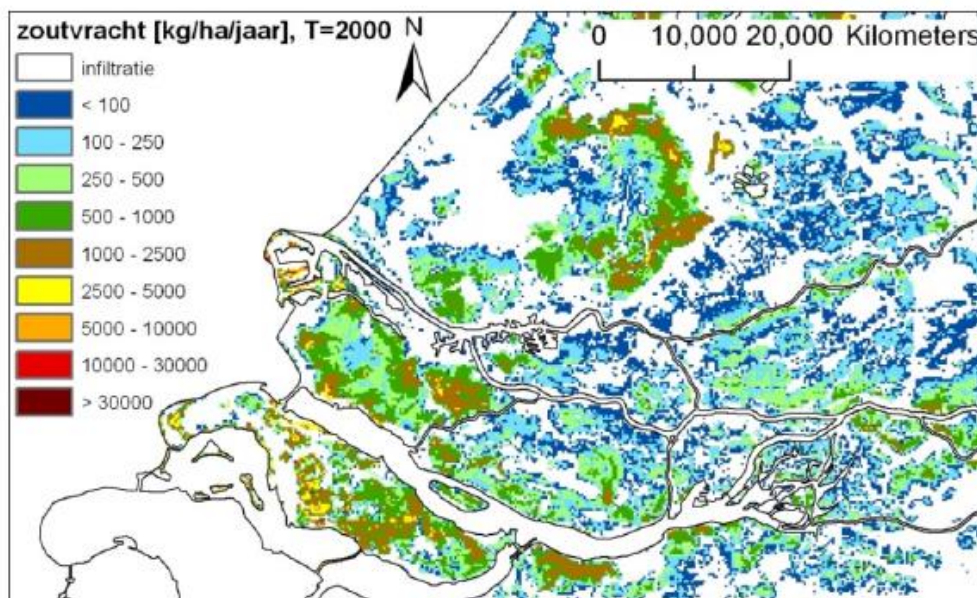
In Figuur 2-1 is te zien op welke diepte het grondwater een chlorideconcentratie heeft van 1000 mg l^{-1} (overgang van brak naar relatief zout water). Hier springt zowel het gebied ten noorden van de Nieuwe Waterweg (Gemeente Westland) in het oog, alsmede enkele kleinere gebieden ten noorden hiervan, waaronder de Noordplaspolder en Oegstgeest. Volgens de kwelkaart (Figuur 2-2) is er in enkele van deze gebieden ook sprake van kwel. In Figuur 2-3 wordt de zoutvracht geïllustreerd zoals deze berekend is met het grondwatermodel van de Provincie Zuid-Holland.



FIGUUR 2-1. DIEPTÉ VAN HET BRAK-ZOUT GRENSVLAK ($1000 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cl}^{-1}$) IN METERS TEN OPZICHT VAN NAP (OUDE ESSINK ET AL. 2010).



FIGUUR 2-2. KWEL EN WEGZIJJING IN DE PROVINCIE ZUID HOLLAND.



FIGUUR 2-3. ZOUTVRACHT IN ZUID-HOLLAND (OUDE ESSINK ET AL., 2008).

Aangezien deze kaarten vrij grof zijn en het in de meeste gevallen niet bekend is in hoeverre deze gegevens gevalideerd zijn, heeft er overleg plaatsgevonden met de waterschappen Hoogheemraadschap Delfland en Hoogheemraadschap Rijnland. In Delfland geeft men aan dat er geen specifieke problemen worden ervaren op het gebied van brakke kwel. In Rijnland ervaart men vooral problematiek van brakke kwel vanuit Polder de Noordplas en de Haarlemmermeer. Deze laatste polder valt ver buiten het interessegebied.

Reductie van zoute kwel in de landinwaarts gelegen Noordplaspolder kan een gunstig effect hebben op andere gebieden binnen Rijnland, omdat het brakke doorspoelwater dat normaal gesproken in de boezem terecht komt elders tot zoutschade kan leiden (onder andere in de omgeving van Boskoop, waar de teelten gevoelig en kapitaalintensief zijn). 7.9% van de chloridebelasting op de boezem van Rijnland is afkomstig uit Polder de Noordplas (De Louw et al., 2004). Stuyt et al (2013) berekenden met het model Eureyeopener hoeveel schade er voorkomen zou worden als Polder de Noordplas direct op zee zou lozen (vergelijkbaar met winning van brakke kwel en lozing brijn op zee, mits er voldoende kwel wordt afgevangen). De besparing werd ingeschat op 3,1 M€ (vermoedelijk per jaar), wat een verlaging is van 12% ten opzichte van de referentiesituatie waarin wordt doorgespoeld (Stuyt et al., 2013).

Naast polders met brakke kwel kan ook gekeken worden naar gebieden waarin wateroverlast door kwel plaatsvindt, bijvoorbeeld in stedelijke gebieden met natte kelders. Vermindering van de kweldruk door een waterwinning zou ook in deze gebieden nuttig kunnen zijn. Er zijn geen vlak-dekkende gegevens van grondwateroverlast beschikbaar, vooral omdat de gemeenten voor dit probleem verantwoordelijk zijn. In ieder geval is bekend dat er in de gemeente Noordwijk aan Zee sprake was van grondwaterproblematiek (Oude Essink, 2015; Salvador Cob et al., 2013). Dit was echter met name het gevolg van een relatief ondoorlatende laag dicht aan maaiveld. Verwacht wordt dat dit probleem niet eenvoudig kan worden opgelost met de winning van water in het eerste watervoerende pakket. Ook het stopzetten van de DSM onttrekking (ca. 800 m³/h) leidt tot grondwaterlast in de regio Delft en Rijswijk. In overleg met Dunea is besloten om (het in standhouden van) deze winning als bron van brakwater binnen COASTAR niet te beschouwen in verband met de lopende stopzetting van de onttrekking.

De Middelburg-Tempel (MT) polder is vanwege de opbarstingsgevoeligheid en de negatieve impact van het kwelwater van deze polder op de Gouwe tevens een interessante polder voor winning van kwelwater. Naar verwachting is het kweldebiet in deze polder echter beperkt, waardoor het voor een partij als Dunea minder te bieden heeft. Lokale afzet (bijvoorbeeld richting Boskoop) kan echter interessant zijn. In de MT polder vindt thans een hydrologisch onderzoek naar opbarsting plaats.

2.3 VERGELIJKING EN KEUZE VERKENNINGSLOCATIES

In Tabel 2-1 is een overzicht te zien van de verschillende, verkende locaties en de overwegingen die mogelijk een rol spelen bij de keuze voor een geschikte locatie.

Voor de winning langs de kust wordt locatie Solleveld als meest geschikt geacht vanwege de beschikbaarheid van een betrouwbaar, fijn-gediscretiseerd grondwatermodel waarin dichtheidseffecten zijn meegenomen. In overleg met Dunea is de keuze gevallen op deze locatie voor nader modelonderzoek. Op basis van de uitkomsten wordt echter ook de haalbaarheid / impact ter plaatse van Meijndel ingeschat.

TABEL 2-1. OVERZICHT MOGELIJKE LOCATIES EN MOGELIJK RELEVANTE OVERWEGINGEN.

	Locatie	Maatschappelijk	Praktisch en economisch
Kustlijn	Scheveningen (zuidzijde Meijndel)	- Verzilte winningen aanwezig	- Beschikbare modellen vereisen aanpassing
	Solleveld		- Grondwatermodel beschikbaar
Brakke polders	Noordplaspolder	- Verziltingsproblematiek aanwezig - Eutrofe kwel	- 16 km tot Katwijk - 20 km tot Harnaspolder
	Middelburg-Tempelpolder	- Opbarsting en welvorming belemmeren landbouwfunctie	- 24 km tot Katwijk - 27 km tot Harnaspolder - Beperkt debiet
	Nieuwe Waterweg	- Verzilting aangetoond in studie Deltares - 'Oeverwinning' mogelijk - Verzilting wordt niet als probleem ervaren	- 31 km tot Katwijk - 12 km tot Harnaspolder - 17 km tot Solleveld
	Haarlemmermeer	- Verziltingsproblematiek aanwezig	- 14 km tot Katwijk - 31 km tot Harnaspolder - Valt buiten focusgebied

Hoewel het mogelijk is dat er in Delfland brakke kwel plaats vindt zonder dat dit als probleem wordt ervaren (bijvoorbeeld in het gebied tussen Maassluis en Vlaardingen), is het kansrijker om Polder de Noordplas in het gebied van Rijnland als doelgebied voor brakwaterwinning te kiezen, omdat daar brakke kwel een onderkend en hardnekkig probleem is. Polder de Noordplas is daarom het meest geschikt, ook omdat de brakke kwelproblematiek als probleem wordt ervaren voor een groter gebied, namelijk een groot deel van Rijnland. Een nadeel van deze locatie is de relatief grote afstand tot Katwijk, wat zou betekenen dat waarschijnlijk relatief grote investeringen noodzakelijk zijn om het zoute concentraat naar zee te transporteren. De Haarlemmermeer zou ook een interessante locatie zijn, maar wordt in dit rapport buiten beschouwing gelaten omdat deze polder ver buiten het focusgebied Rotterdam – Westland – Den Haag valt.

2.4 ALTERNATIEF: LOZING BRIJN IN DE ONDERGROND?

Lozing op zee is in beginsel verboden (Waterwet: artikel 6.2) en vereist lange transportleidingen. Het alternatief voor het lozen van brijn op zee is het injecteren in de diepe ondergrond. Deze praktijk wordt bijvoorbeeld toegepast in de tuinbouw. Het lozen van brijn in de ondergrond is echter verboden, omdat deze praktijk leidt tot meer verzilting. Wel geldt er tot 1 juli 2022 een ontheffing indien toegepast in aanvulling op een regenwateropslag van minimaal 500 m³ per ha¹.

Voor lozingen van brijn dat vrijkomt bij de bereiding van drinkwater zouden vergelijkbare knelpunten gelden. Pelamonia en Keessen (2012) hebben dit onderwerp vanuit juridisch perspectief uitgediept (H2O, 2013; Pelamonia and Keessen, 2012). Zij schrijven dat vanuit juridisch opzicht brijnlozingen nationaal gereguleerd zouden moeten worden om te voldoen aan de Europese regelgeving. Aangezien het grondwater beschermd is onder de kaderrichtlijn water (KRW) zou voor de lozing van brijn waarschijnlijk een uitzonderingsgrond moeten worden ingeroepen. Dit zou alleen mogelijk zijn als de beschikbare alternatieven technisch niet haalbaar en onevenredig kostbaar zijn. Via een vergunning zou individuele toestemming verkregen kunnen worden om brijn in de ondergrond te lozen. Hiervoor zou onder andere monitoring vereist zijn. Onder de Nederlandse regelgeving kan het per grondwaterlichaam verschillen wat de chemische eisen zijn die aan het grondwater gesteld worden, vooral op het gebied van chloride aangezien het natuurlijke voorkomen ruimtelijk sterk kan verschillen. Het Activiteitenbesluit Milieubeheer reguleert lozingen van brijn dat vrijkomt bij drinkwaterbereiding. De Technische Commissie Bodem adviseert hier het stand-still beginsel te hanteren en brijn alleen in te brengen in een laag die gescheiden is van de laag waarin water gewonnen wordt.

De auteurs vatten in hun artikel de voorwaarden voor de lozing van brijn in het grondwater als volgt samen (H2O, 2013):

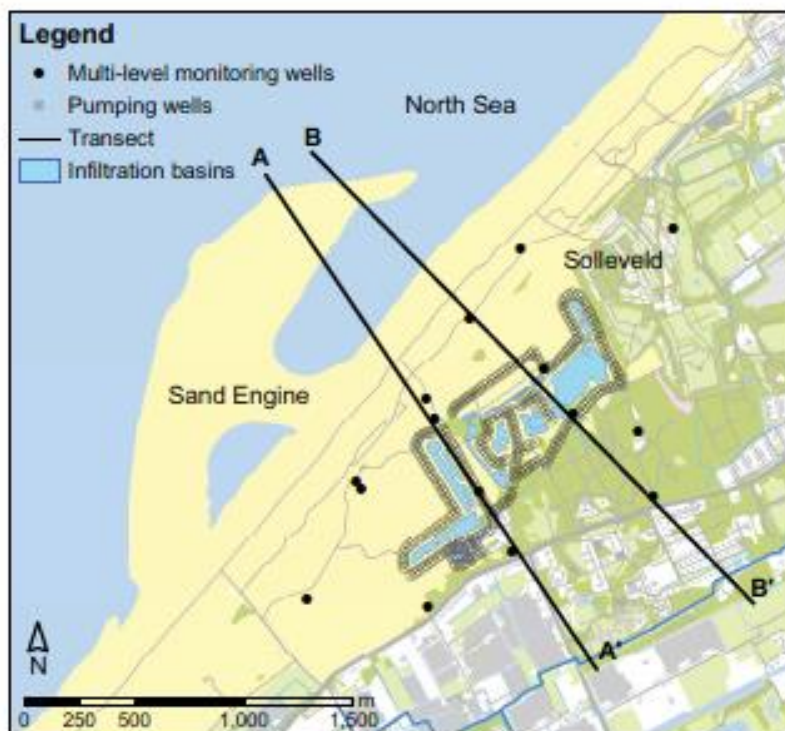
1. Chlorideconcentratie in brijn is lager of gelijk aan de concentratie in het ontvangende grondwater.
2. Voor overige stoffen mogen de geldende normen niet overschreden worden.
3. Er is een waterscheidende laag tussen de aquifer waar water gewonnen wordt en waar het brijn wordt geloosd.
4. Regelmatige monitoring vindt plaats
5. Energiezuinigheid
6. Voorkoming van uitputting van de voorraad brak water en van bodemdaling.

¹ Motie Koopmans / Sneijder-Hazelhoff, 28 juni 2011

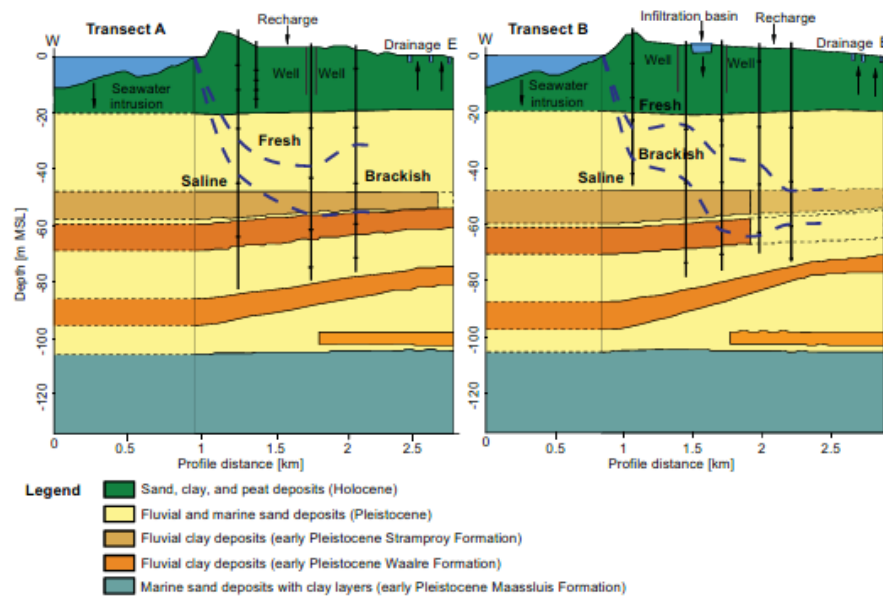
3 Verkenning brakwaterwinning Solleveld

3.1 EERDER ONDERZOEK (HUIZER ET AL., 2016)

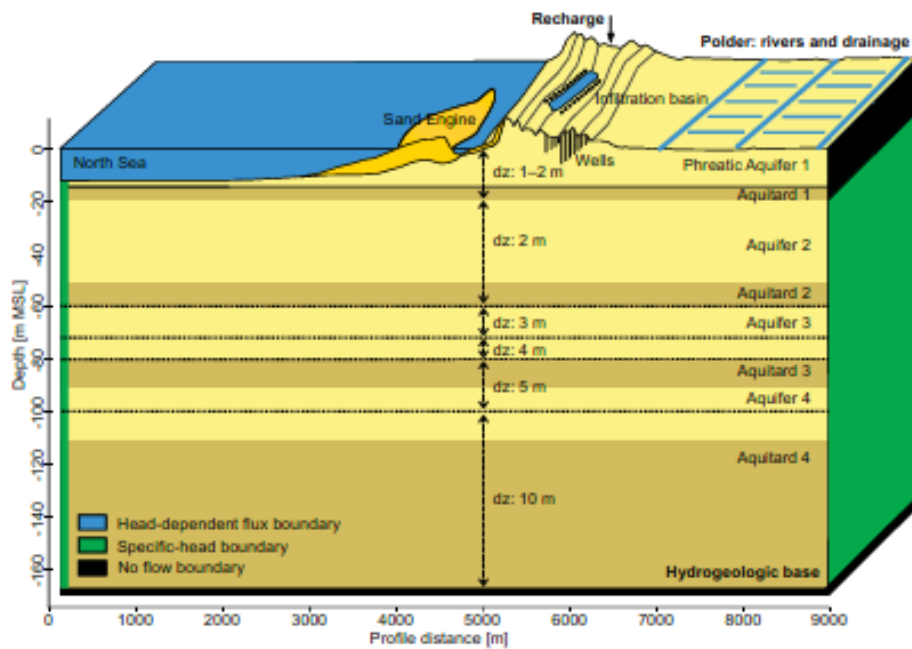
Nabij waterwinning Solleveld is de Zandmotor aangelegd, een megazandsuppletie ten behoeve van de Nederlandse kustontwikkeling (Figuur 3-1, Figuur 3-2). Huizer et al. (2016) onderzochten de effecten van de aanleg en morfologische ontwikkeling van de Zandmotor op de zoete grondwatervoorraden in de nabijgelegen duinen. Hiervoor is een 3D numeriek grondwatermodel ontwikkeld waarin dichtheidseffecten zijn meegenomen (SEAWAT code, (Langevin et al., 2008)). De schematisatie van dit model is weergegeven in Figuur 3-3 en Figuur 3-5. De initiële toestand (in 2010) van het model, welke als startsituatie wordt gebruikt voor de scenario's in Huizer et al. (2016) alsmede in dit rapport, is berekend middels een "inspeelperiode" van 1500 tot 2010 AD. Het model is gekalibreerd op basis van gemeten stijghoogten en zoutgehalten van vóór de aanleg van de Zandmotor. Aangezien de meeste meetpunten rondom Solleveld liggen, is te verwachten dat de resultaten relatief betrouwbaar zijn voor dit gebied. Daarna is een morfologisch model toegevoegd om de effecten van de Zandmotor op het grondwater te kunnen onderzoeken. De resultaten (Figuur 3-4) lieten zien dat de voorraad zoetwater in laterale richting groeit, terwijl het grondwater onder de zoetwaterbel zouter wordt.



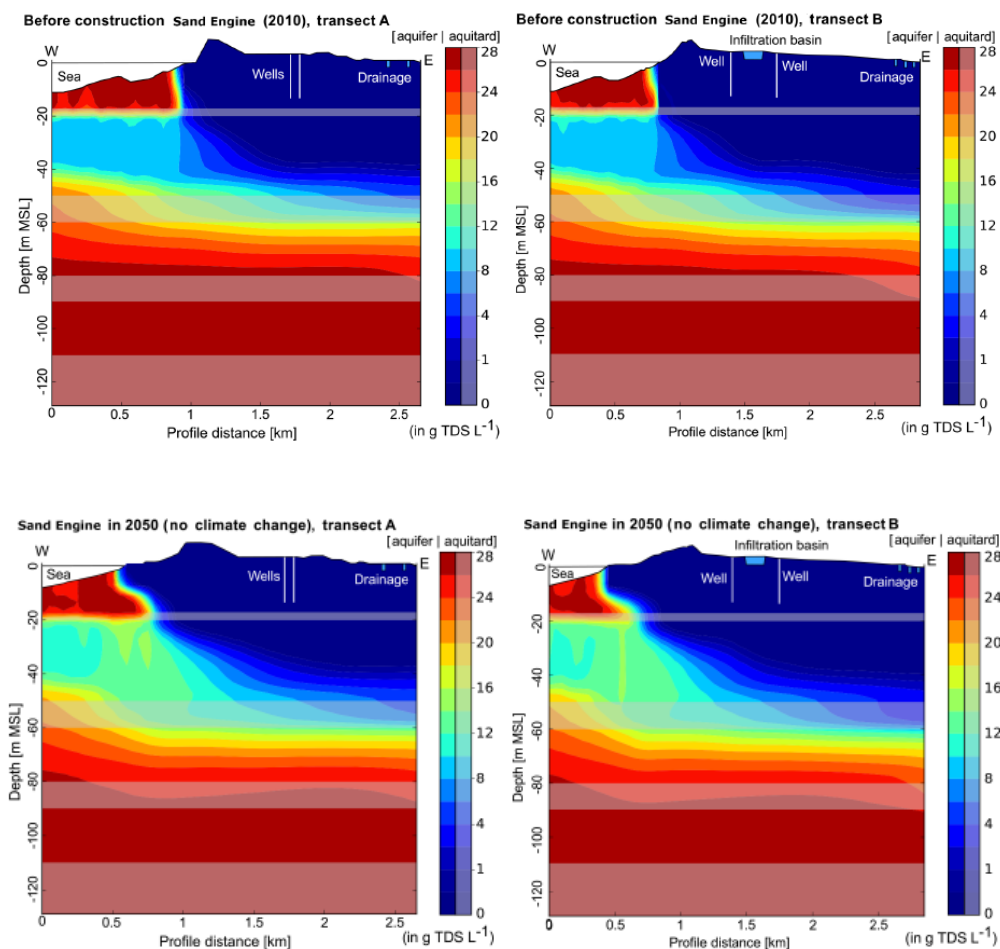
FIGUUR 3-1. DUINGEBIED SOLLEVELD NABIJ DE ZANDMOTOR, MET DE INFILTRATIEVIJVERS, WIN- EN MONITORINGSPUTTEN (UIT: HUIZER ET AL. (2016)).



FIGUUR 3-2. GEOLOGISCH PROFIEL VAN DUINGEBIED SOLLEVELD (UIT: HUIZER ET AL. (2016)).



FIGUUR 3-3. SCHEMATISATIE VAN HET GRONDWATERMODEL UIT: (HUIZER ET AL., 2016). NB: LET OP VERSCHIL IN SCHAALEN HORIZONTAAL (9 KM) / VERTICAAL (160 M).



FIGUUR 3-4. GESIMULEERDE ZOUTCONCENTRATIES IN 2010 EN 2050 IN DE TWEE TRANSECTEN (FIGUUR 3-1) UIT: (HUIZER ET AL., 2016).

De zoutconcentraties in Figuur 3-4 zijn in g TDS/L; deze waarde, vermenigvuldigd met een factor ~ 0.554 , geeft g/L chloride. In het freatische watervoerend pakket vindt laterale uitbreiding van de zoetwaterlens plaats, terwijl in het eerste watervoerende pakket juist verzilting lijkt te gaan plaatsvinden richting het winveld. De schaal horizontaal verschilt van verticaal. De verklaring van deze resultaten wordt gegeven in Huizer et al., (2016).

3.2 ACHTERGRONDEN BIJ SOLLEVELD

3.2.1 BEHEERSMAATREGELEN M.B.T. PUINDUINEN

Op dit moment wordt er met ondiepe pompputten continu zoetwater onttrokken tussen de winning Solleveld en de zeereep (deze ondiepe putten zijn overigens op dit moment nog niet in het model geïmplementeerd). Zo wordt voorkomen dat door aanleg van de Zandmotor de waterscheiding ongunstig ten opzichte van de Puinduinenveld komt te liggen en er vervuild water richting winputten kan stromen. Het afgevangen water wordt lokaal geloosd.

3.2.2 INITIELE ZOET-ZOUTVERDELING

De meest betrouwbare initiële zoet-zoutverdeling is op dit moment gebaseerd op het PZH-model (zie ook Huizer et al, 2016). SkyTEM metingen zijn uitgevoerd, maar worden pas in 2018 verder uitgewerkt. Deze zouden met name ingezet kunnen worden voor detailonderzoek na gunstige uitkomst van de haalbaarheidsstudie binnen COASTAR.

3.2.3 WINVELD: BASIN ARTIFICIAL RECHARGE (BAR)

In 2003 is Solleveld opnieuw ingericht. In de huidige opzet wordt 7 tot 8 miljoen m³ water gewonnen in het freatische pakket. De pompputten hiervoor zijn geplaatst rondom een infiltratiebekken, dat op constant peil (+2.5 m NAP) gehouden worden door aanvoer van voorgezuiverd rivierwater

3.3 MOGELIJKE OPZET COASTAR DUNEA: SOLLEVELD

In een brainstormsessie met Deltares, Dunea, Arcadis en KWR is op 18 mei 2017 verkend welke conceptuele opzet geschikt zou kunnen zijn voor de winning Solleveld en Meijendel.

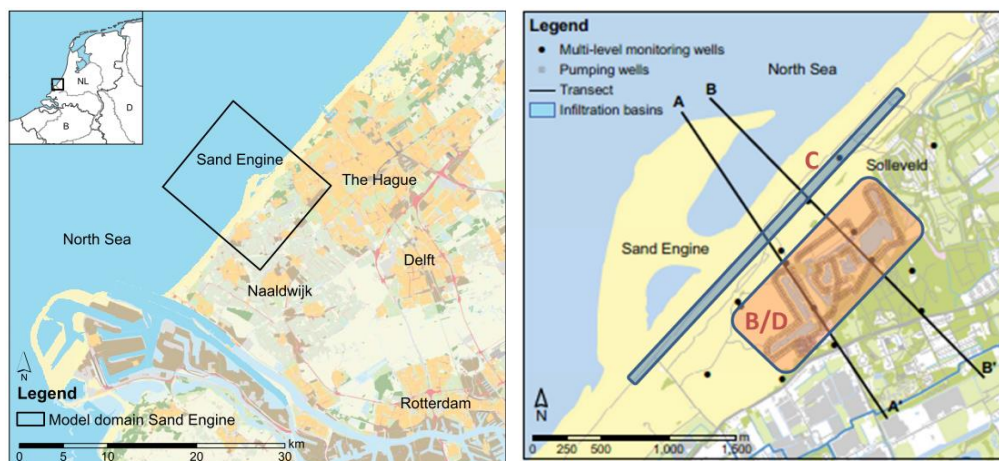
3.3.1 UITGANGSPUNTEN SOLLEVELD

Op basis van de studie van Huizer et al. (2016) wordt m.b.t. de zoet-zoutverdeling in relatie tot de opbouw van de ondergrond het volgende vastgesteld:

- Het eerste watervoerende pakket (Holoceen duinzand, inclusief huidige winning) is volledig zoet;
- De huidige zoetwaterlens bevindt zich tot iets onder de eerste slechtdoorlatende laag (basisveen, ca. -15 tot -20 m-NAP, weerstand geschat op 5000 d volgens Huizer et al., 2016);
- Onder het basisveen bevindt zich de Kreftenheije Formatie (fluviaal zand) met voornamelijk brakwater, uitstrekkend tot enkele honderden meters onder de zee;
- De tweede slechtdoorlatende laag (ca. -50 tot -60 m NAP, weerstand: ca. 50 d) markeert ter plaatse van het winveld ook de overgang naar aanzienlijk zouter grondwater.

Voor een optimale brakwateronttrekking is het volgende gewenst:

1. Concentraties onttrokken brakwater blijven maximaal 50% zeewater (ca. 8400 mg/l Cl) t.b.v. ontzilting en lozing concentraat;
2. Door onttrekking wordt verzilting tegengegaan en de zoetwaterlens vergroot ('Freshkeeper-principe', Ross et al., 2014). Hierdoor ontstaat een strategische (winbare) zoete grondwatervoorraad;
3. Geen onacceptabele impact op de omgeving.

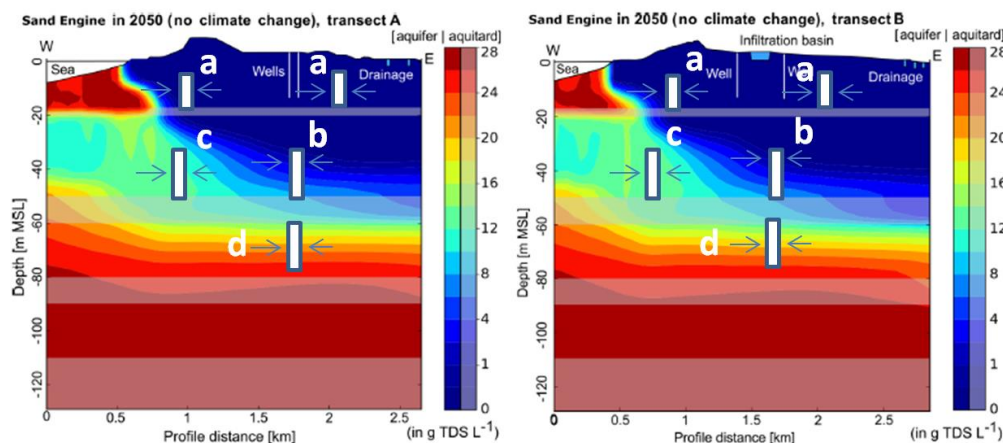


FIGUUR 3-5: LINKS: MODEL DOMEIN, RECHTS: POTENTIËLE WINLOCATIES BRAKWATER.

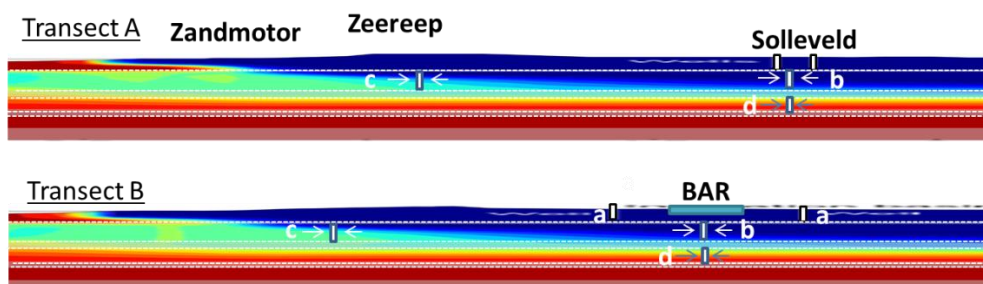
3.3.2 ANALYSE MOGELIJKE WINLOCATIES

Ter selectie van kansrijke scenario's welke interessant zijn om modelmatig verder te onderzoeken, is als eerste stap een viertal mogelijke configuraties van winlocaties (Figuur 3-6, Figuur 3-7) kwalitatief geëvalueerd (Tabel 3-1). Met name winning in het tweede watervoerende pakket (scenario's 2 en 3 in Tabel 3-1) lijkt potentie te hebben vanwege het voorkomen (en mogelijk in stand blijven) van gunstige onttrekkingsconcentraties. Mogelijk kan door hydrologisch-optimale plaatsing van het brakwaterwinveld richting zeereep (scenario 3) lateraal ook voor verzoeting worden gezorgd en kan brak/zout grondwater in de toekomst ver van het winveld worden gehouden (een soort 'laterale Freshkeeper').

De hoge weerstand van de eerste scheidende laag (op 20 m-mv) werkt nadelig op het Freshkeeper-principe doordat deze de stroming van zoet water richting diepere lagen beperkt. Bovendien beperkt deze weerstand de mogelijkheid tot extra infiltratie via het huidige systeem (infiltratiebekkens) doordat de potentiaalverlaging als gevolg van de brakwaterwinningen slechts beperkt tot het freatische pakket doordringt.



FIGUUR 3-6: POTENTIËLE WINLOCATIES BRAKWATER IN DE ZOETWATERLENS BIJ SOLLEVELD IN EEN DWARDSDOORSNEDE.



FIGUUR 3-7: POTENTIËLE WINLOCATIES BRAKWATER, BIJ GELIJKE HORIZONTALE EN VERTICALE SCHAAL.

TABEL 3-1. OVERZICHT: EVALUATIE MOGELIJKE WINLOCATIES SAMENGEVAT. RO = REVERSE OSMOSIS.

Scenario	Locatie	1. Waterkwaliteit	2. Freshkeeper-effect	3. Extra? Infiltratie via huidige systeem	4. Impact omgeving	Oordeel
1	a. WVP1	Te lage concentraties, percolaat puinduinen	Geen, pakket al zoet	Ja	Ja	Ongeschikt
2	b. WVP2, onder Solleveld	<50% zeewater	Mogelijk, wel hoge weerstand 20 m-NAP	Mogelijk, wel hoge weerstand 20 m-NAP	Aantrekken zoutwater?	Mogelijk geschikt
3	c. WVP2, t.p.v. zeereep	<50% zeewater	Mogelijk, wel hoge weerstand 20 m-NAP Laterale Freshkeeper?	Mogelijk, wel hoge weerstand 20 m-NAP en grotere horizontale afstand tot winveld	Beperkt	Mogelijk geschikt, kan eventuele intrusie afvangen
4	d. WVP3	>50% zeewater	Wel als zoete winning in WVP2 plaatsvindt	Mogelijk, wel hoge weerstand 20 m-NAP en enige weerstand op 50 m-NAP	Beperkt	Mogelijk geschikt, RO niet ideaal door zoutwater
5	c en d.	<50% zeewater (?)	Wel als zoete winning in WVP2 plaatsvindt	Mogelijk, wel hoge weerstand 20 m-NAP en enige weerstand op 50 m-NAP	Beperkt	Mogelijk geschikt

Op basis van de evaluatie van mogelijke winlocaties in sectie 3.3.2 zijn scenario's 2, 3 en 5 uit Tabel 3-1 geselecteerd voor nader onderzoek met behulp van modelberekeningen.

3.4 OPZET NADER ONDERZOEK MIDDELS MODELLERING: SOLLEVELD

3.4.1 TE BEANTWOORDEN VRAGEN

Er worden, op basis van het model zoals gepresenteerd in Huizer et al. (2016), vier basisvragen beantwoord in de eerste fase van dit onderzoek binnen TKI:

1. Hoeveel m³ zoet grondwater kan er extra geborgen worden in de kustzone?
2. Hoe snel gaat dat proces?
3. Wat is het verloop van de concentratie in de tijd van het onttrokken brak grondwater dat je onttrekt?
4. Een afgeleide vraag is of het Freshkeeper-principe (zoet én brak grondwater onttrekken) in potentie voldoende werkt. Indien dit niet het geval is: wat zijn hiervan mogelijke redenen? Beoordelingscriteria voor de werking van het Freshkeeper-principe staan in Tabel 3-2.

TABEL 3-2. BEOORDELINGSCRITEIA VOOR HET FRESHKEEPERPRINCIPE

Freshkeeperprincipe	Gerealiseerde verzoeting rondom Solleveld
Voorraadvorming (voor droge perioden)	Hoeveel m ³ 'voorraad' ontstaat er na verloop van tijd? Is de beoogde 2 à 3 Mm ³ realistisch?
Wincapaciteit	Hoeveel van deze voorraad is winbaar? Ervan uitgaande dat BAR systeem stilvalt (innamestop)
Zoutconcentratie brakwater	Van belang is dat de brakwaterconcentraties niet teveel oplopen.
Impact omgeving	Stijghoogtes rondom de winning, freatische grondwaterstandsveranderingen (volgens model)

3-5 UITKOMSTEN NADER ONDERZOEK MIDDELS MODELLERING: SOLLEVELD

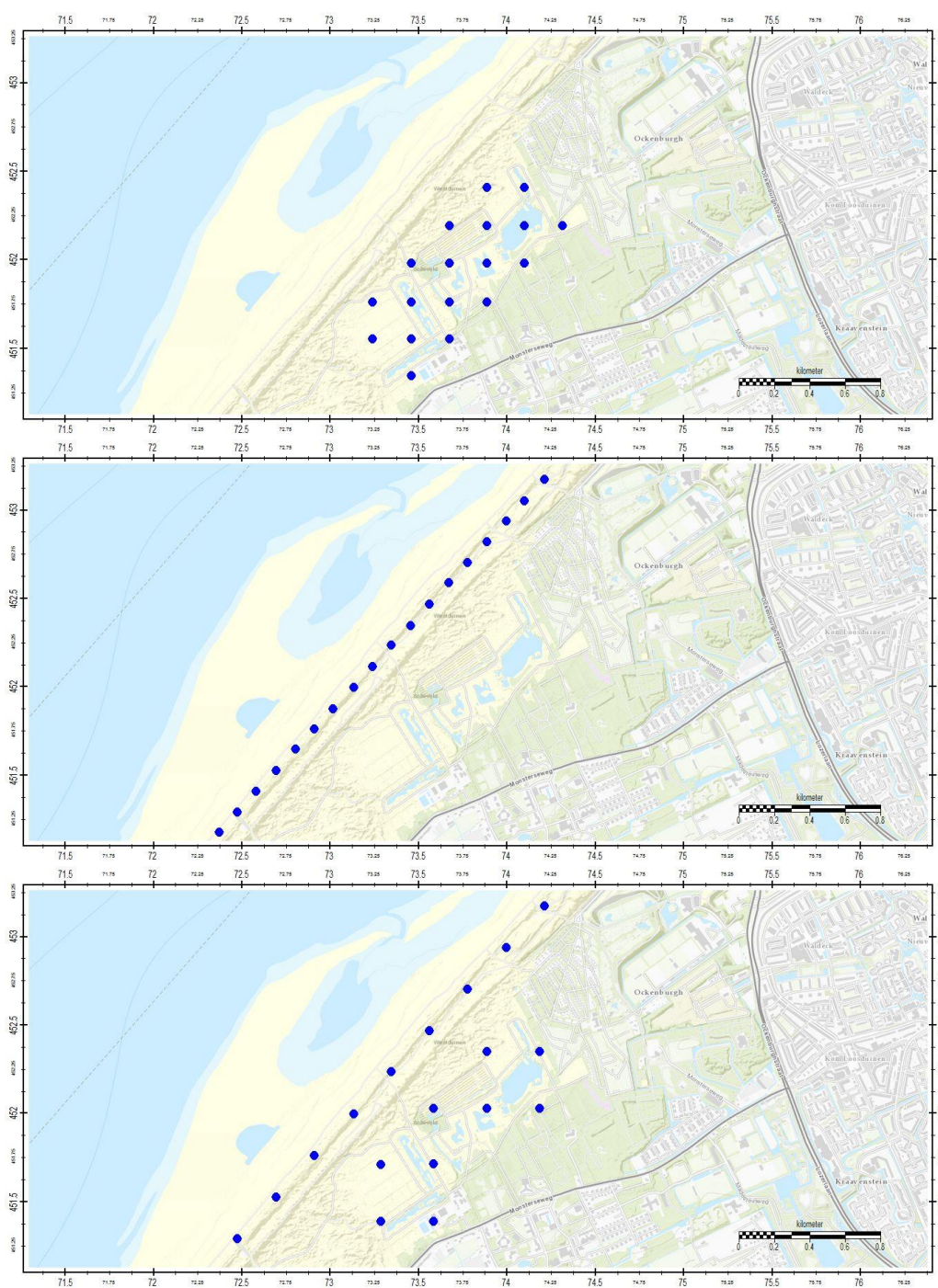
3-5.1 OPZET BEREKENINGEN

In de geselecteerde scenario's (scenario's 2, 3 en 5 uit Tabel 3-1) worden in totaal 18 onttrekkingsputten geplaatst elk met een debiet van 600 m³/dag. Deze debieten zijn haalbaar geachte op basis van de hydraulische eigenschappen van het pakket, gangbare boorgatdiameters, en onttrekkingsnormen. Dit levert op jaarbasis een totale onttrekkingshoeveelheid op van 4Mm³. De ruimtelijke verdeling van de onttrekkingen is per scenario weergegeven in Figuur 3-8. Te zien is dat de onttrekkingen ruimtelijk gelijkmatig verdeeld zijn over de zones C en B/D. In scenario 5 zijn de winningen gelijk over twee zones verdeeld (scenario 5).

De verdeling over de diepte is als volgt:

- Onttrekkingen in WVP2 zijn geplaatst op een diepte van 38 - 48m - NAP. Dit is vlak boven de 2^e scheidende laag, die zich bevindt op -50 - -60mNAP.
- Onttrekkingen in WVP3 zijn geplaatst op een diepte van op -62 - -72mNAP. Dit is vlak onder de 2^e scheidende laag, welke zich bevindt op -50 - -60mNAP.

Met deze configuraties is het model voor een periode van 40 jaar doorgerekend (2011-2050). De simulatie begint direct na de aanleg van de Zandmotor. De resultaten worden hieronder besproken.

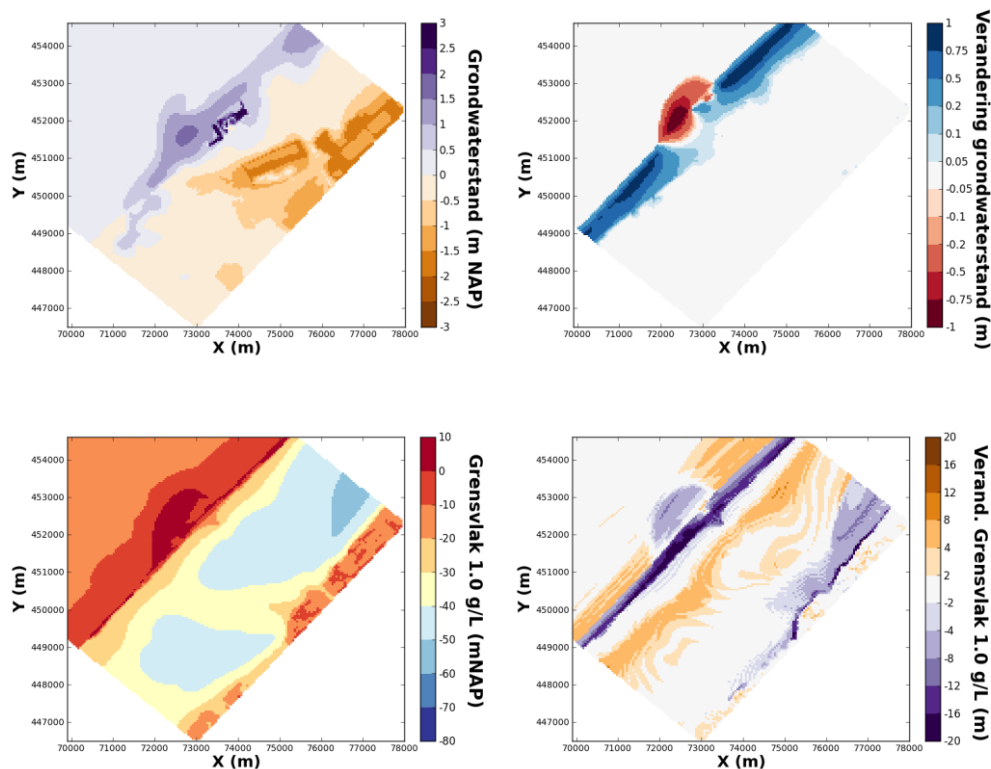


FIGUUR 3-8: LOCATIES VAN DE ONTTREKKINGEN IN DE SCENARIO'S. BOVEN: SCENARIO 2, MIDDEN: SCENARIO 3, ONDER: SCENARIO 5.

3.5.2 RESULTATEN MODELLERING BRAKWATERWINNING: SOLLEVELD

Referentie scenario 0

De resultaten van de simulatie van referentiesituatie worden gegeven in Figuur 3-9. In deze resultaten is puur het effect te zien van autonome ontwikkeling onder invloed van de aangebrachte Zandmotor. In de figuur linksboven is te zien dat deze ontwikkeling resulteert in een verhoging van de grondwaterstand tot 1m, als gevolg van de uitbreiding van de kustlijn en de additionele opbolling die daardoor verder landinwaarts veroorzaakt wordt. Ter hoogte van de Zandmotor (de "haak" zelf) is een verlaging van de grondwaterstand te zien in de modelresultaten; dit is het gevolg van het feit dat deze "haak" gedurende de gesimuleerde periode verdwijnt. Daar waar in het begin van de simulatie op deze locatie nog een opbolling aanwezig is (hier niet getoond) als gevolg van de aanwezigheid van het landlichaam, is deze opbolling aan het einde van de simulatie (2050) verdwenen. De kustverbreding die met de Zandmotor wordt bereikt levert ter plaatse een verlaging van het zoet-zout grensvlak op. Dit komt doordat het regenwater dat hier valt resulteert in een zoetwaterlens. Voorheen was deze lens afwezig om de simpele reden dat er geen landmassa was waarin deze zou kunnen hebben ontstaan.



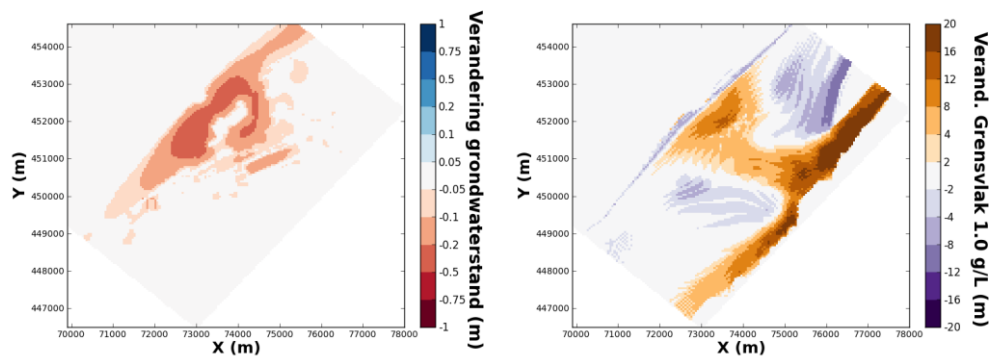
FIGUUR 3-9: RESULTATEN VAN DE SIMULATIE VAN DE REFERENTIESITUATIE. LINKSBOVEN: GRONDWATERSTAND IN 2011. RECHTSBOVEN: VERANDERING IN GRONDWATERSTAND GEDURENDE DE PERIODE 2011-2050. LINKSONDER: POSITIE ZOET-ZOUT GRENSVLAK IN 2011. RECHTSONDER: VERANDERING IN DE POSITIE VAN HET ZOET-ZOUT GRENSVLAK GEDURENDE DE PERIODE 2011-2050. IN DE FIGUUR RECHTSONDER BETEKENEN BLAUWE KLEUREN EEN DIEPER GRENSVLAK.

Scenario 2

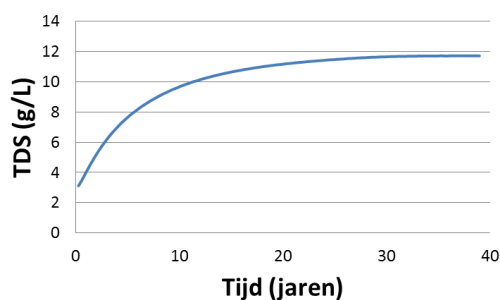
Figuur 3-10 toont de resultaten van Scenario 2, in termen van effecten op grondwaterstand en positie van het zoet-zout grensvlak in 2050. De brakwateronttrekkingen veroorzaken een verlaging van de grondwaterstand tot ongeveer 0.5 meter ten opzichte van de referentie scenario. De groei van de zoetwaterlens is in dit scenario kleiner dan in de referentie scenario. De brakwateronttrekkingen trekken zout water vanuit het westen aan, onder de zoetwaterbel door. Dit, gecombineerd met het feit dat de brakwateronttrekkingen ook zout water aantrekken vanuit WVP3, belemmert verdere expansie van de zoetwaterbel naar grotere diepte.

De grote verschuivingen in de positie van het zoet-zoutgrensvlak langs de zuidostrand van het model zijn het gevolg van de opgelegde randvoorwaarden in combinatie met de initiële chlorideconcentraties en moeten daarom voor de evaluatie van de ingreep buiten beschouwing worden gelaten. De regionale stromingsrichting in het grondwatersysteem is oost-west; over de zuidostrand komt dus water binnen. De concentratie-randvoorwaarde langs deze rand heeft over een groot dieptetraject een waarde van iets boven 1 g/L. Als dit water zoeter water verdringt kan dat leiden tot zeer grote verschuivingen in de positie van het zoet-zout grensvlak.

Het verloop van de zoutconcentratie in het onttrokken water (berekend als flux-gewogen concentratie over alle brakwateronttrekkingen) wordt gegeven in Figuur 3-11. De zoutconcentratie verviervoudigt gedurende de simulatie van ongeveer 3 g/L naar bijna 12 g/L.



FIGUUR 3-10: LINKS: VERANDERING GRONDWATERSTAND TEN OPZICHTE VAN REFERENTIE, 2050. RECHTS: VERANDERING POSITIE ZOET-ZOUT GRENSVLAK (1.0 G/L) TEN OPZICHTE VAN REFERENTIE, 2050.

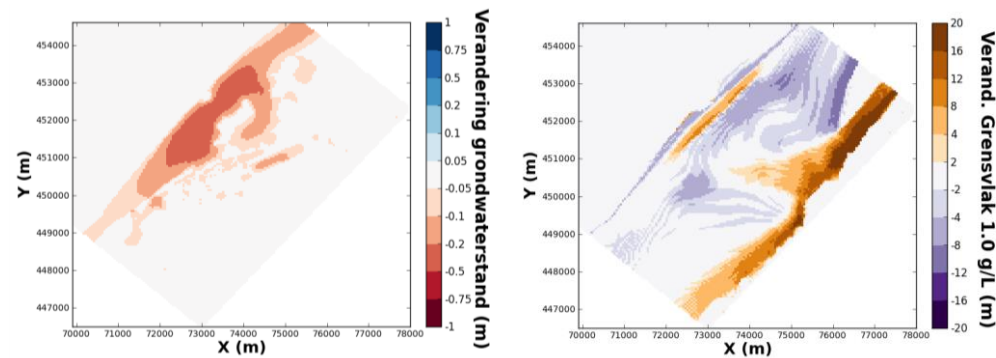


FIGUUR 3-11: VERLOOP VAN DE CHLORIDE CONCENTRATIE VAN HET ONTTROKKEN WATER IN ADDITIONELE WINNINGEN IN SCENARIO 2.

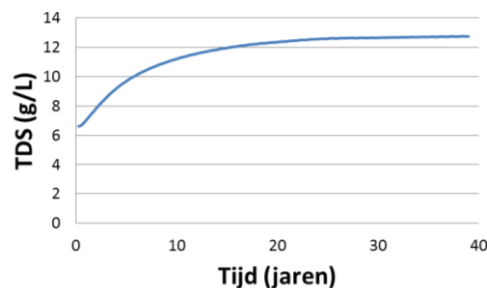
Scenario 3

Ook in Scenario 3 (zie Figuur 3-12) wordt zout water vanuit het westen aangetrokken, maar dit wordt nu westelijk van de zoetwaterbel afgevangen. Door de verlaagde stijghoogte in de diepste / derde aquifer kan de zoetwaterbel ten oosten van de brakwateronttrekkingen wat groeien. De onttrekkingen in de zeereep trekken lokaal het zoet-zoutgrensvlak wel omhoog.

De zoutconcentratie in de winningen langs de zeereep verdubbelt gedurende de periode tot 2050 van ongeveer 6 tot 12 g/L (Figuur 3-13).



FIGUUR 3-12: LINKS: VERANDERING GRONDWATERSTAND TEN OPZICHTE VAN REFERENTIE, 2050. RECHTS: VERANDERING POSITIE ZOET-ZOUT GRENSVLAK (1.0 G/L) TEN OPZICHTE VAN REFERENTIE, 2050.

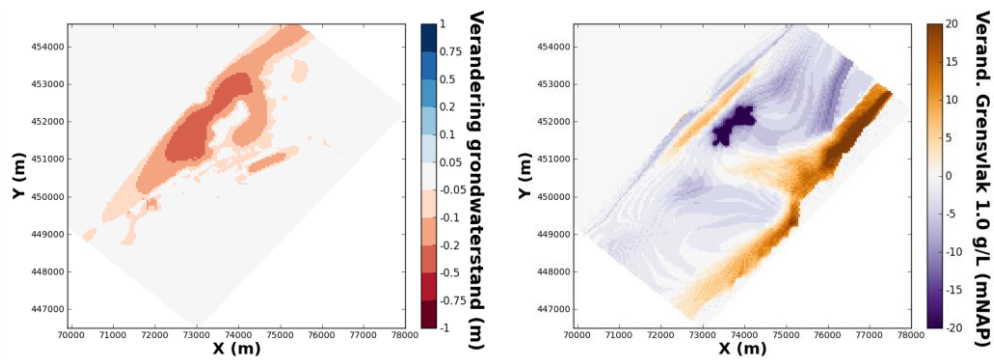


FIGUUR 3-13. VERLOOP VAN DE CHLORIDE CONCENTRATIE VAN HET ONTTROKKEN WATER IN ADDITIONELE WINNINGEN IN SCENARIO 3.

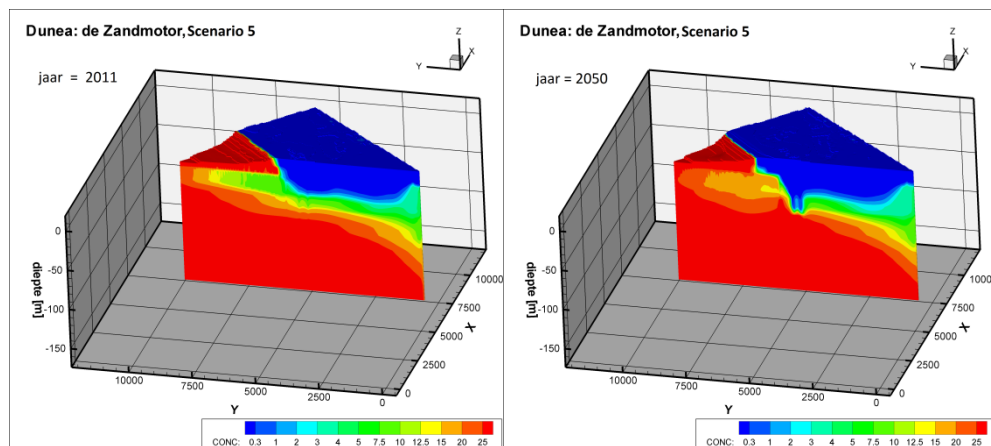
Scenario 5

Scenario 5 presteert het beste wat betreft de vergroting van de zoetwaterbel. De diepe winningen (in WVP 3) zijn beter gepositioneerd dan de ondiepere winningen in de twee andere scenario's, omdat zij, als gevolg van de scheidende laag tussen de winningen en de zoetwaterbel, geen nadelig bijeffect sorteren van het aantrekken van zout zeewater vanuit het westen richting de zoetwaterbel (Figuur 3-14). De weerstand van de tweede scheidende laag is in het model bovendien tegelijkertijd laag genoeg om te resulteren in drukverlaging in WVP2, met een verdieping van de zoetwaterbel als gevolg. Figuur 3-15 geeft ter illustratie de verandering in de 3D zoet-zoutverdeling weer in dit scenario.

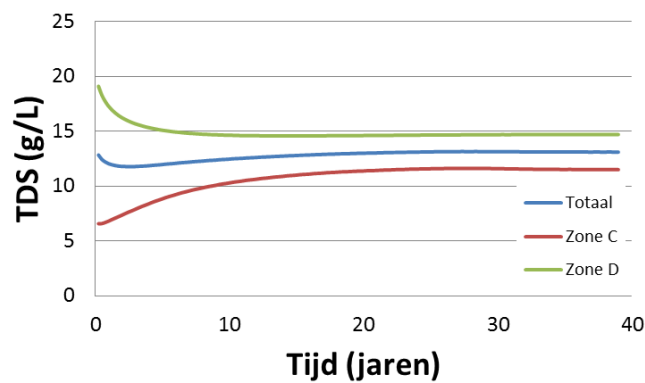
Figuur 3-16 laat het verloop van de zoutconcentratie zien, uitgesplitst naar onttrekkingszone (C = zeereep, D = onder Solleveld, WVP3). De zoutconcentratie in zone D, onder Solleveld, neemt (tijdelijk) af door de inzijging van zoet water in laag 3, door de tweede scheidende laag. In zone C, de zeereep, neemt de zoutconcentratie toe net als in Scenario 2.



FIGUUR 3-14: LINKS: VERANDERING GRONDWATERSTAND TEN OPZICHTE VAN REFERENTIE SCENARIO, 2050. RECHTS: VERANDERING POSTIE ZOET-ZOUT GRENSVLAK (1.0 G/L) TEN OPZICHTE VAN REFERENTIE SCENARIO, 2050.



FIGUUR 3-15 3D ZOET-ZOUTVERDELING AAN HET BEGIN (LINKS) EN AAN HET EINDE (RECHTS) VAN DE SIMULATIEPERIODE. LEGENDA IS IN G/L TDS.



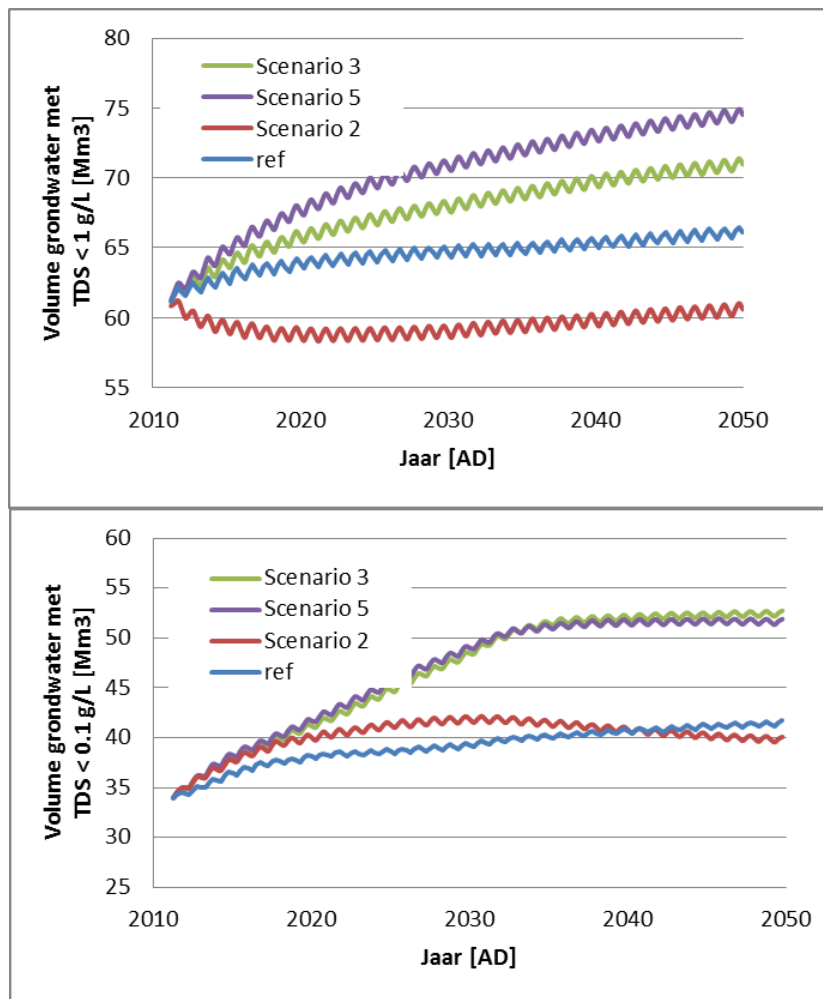
FIGUUR 3-16. VERLOOP VAN DE TDS CONCENTRATIES VAN HET ONTTROKKEN WATER IN ADDITIONELE WINNINGEN IN SCENARIO 5.

Figuur 3-17 geeft de ontwikkeling weer van de zoetwatervoorraad in de referentiesituatie en de drie scenario's. Dunea heeft aangegeven, dat een TDS < 100 mg/L nodig is voor de productie van drinkwater. Daarom presenteren we zowel een concentratie < 1 g/L TDS (bovenste figuur) als een concentratie < 0.1 mg/L TDS (onderste grafiek in Figuur 3-17).

De ontwikkeling van de zoetwatervoorraad in de scenario's is afhankelijk van hoe de gehanteerde grenswaarde (0.1 of 1 mg/L TDS) zich verhoudt tot de initiële concentraties in de omgeving. Een onttrekking die over het filter zowel water met concentraties < 1.0 g/L als > 1.0 g/L aantrekt, zal ter plekke het 1 g/L grensvlak omhoog trekken en het 0.1 g/L grensvlak omlaag. Zo kan het bijvoorbeeld gebeuren dat Scenario 2, in de eerste 10 jaar, resulteert in een afname van het zoetwatervolume volgens de 1 g/L TDS grenswaarde, maar in een toename volgens de 0.1 g/L TDS grenswaarde.

Bij een gehanteerde grenswaarde van 1 g/L TDS (bovenste grafiek in Figuur 3-17) neemt het zoetwatervolume in de referentie toe van ongeveer 61 naar 66 Mm³. Scenario 2 laat het zoetwatervolume eerst afnemen, om uiteindelijk in 2050 ongeveer op hetzelfde niveau uit te komen als in 2011. Scenario 's 3 en 5 geven een toename van het zoetwatervolume ten opzichte van de referentie in 2050 van respectievelijk 5 en 9 Mm³.

In de referentiesituatie neemt de zoetwatervoorraad voor < 0.1 g/L (onderste grafiek in Figuur 3-17) toe van ongeveer 34 naar 42 Mm³ in 2050. Scenario's 3 en 5 laten een twee keer zo sterke toename zien, naar 52 Mm³. Dit betekent een toename van 10 Mm³ ten opzichte van de referentie in 2050. Scenario 2 resulteert uiteindelijk in een vermindering van de zoetwatervoorraad ten opzichte van de referentie, maar is ook hier de zoetwatervoorraad in 2050 wat vergroot, tot 40 Mm³.



Figuur 3-17. Ontwikkeling van het volume zoetwater voor de referentie en de drie scenario's. In de bovenste figuur is een grenswaarde van 1 g/L TDS gehanteerd, in de onderste een grenswaarde van 0.1 g/L.

3.5.3 CONCLUSIES

Op basis van de in de voorgaande sectie beschreven resultaten kunnen de onderzoeksvragen uit sectie 3.4.1 beantwoord worden. Hierbij wordt aangetekend dat de scenario's op niet zijn geoptimaliseerd naar de beste configuratie van onttrekkingen voor maximale toename van zoetwatervolume.

1. *Hoeveel m³ zoet grondwater kan er extra geborgen worden in de kustzone?*
Uitgaande van een grenswaarde voor zoetwater van 0.1 g/L TDS, wordt in de doorgekende scenario's maximaal 11 Mm³ extra zoetwater geborgen aan het einde van de gesimuleerde periode (Scenario 5).
2. *Hoe snel gaat dat proces?*
Uitgaande van het best presterende scenario 5, wordt het zoetwatervolume in de modelsimulatie vergroot met een snelheid van ongeveer 4Mm³ per decennium (zowel bij een gehanteerde grenswaarde voor zoetwater van 1 g/L als bij 0.1 g/L). Aandachtspunt hierbij is dat het aanvullende zoete water grotendeels aangevoerd wordt via het bekkeninfiltratiesysteem van Dunea.
3. *Wat is de concentratie van brak grondwater dat je onttrekt als functie van de tijd?*
Voor beantwoording van deze vraag, zie Figuur 3-11, Figuur 3-13 en Figuur 3-16. In alle doorgekende scenario's (dus niet scenario 4) blijft de zoutconcentratie onder de gestelde bovengrens van 50% zeewater (8400 mg/l Cl).
4. *De afgeleide vraag: Werkt het Freshkeeper-principe (zoet én brak grondwater onttrekken) voldoende? Indien niet: wat zijn mogelijke redenen (bijv. is er teveel weerstand ter plaatse van het basisveen en ontstaat er vooral opkegeling vanuit diepere pakketten)?*
Op de locatie Solleveld is het Freshkeeper-principe veelbelovend. Het verschil in performance tussen de scenario's (m.n. scenario 2 t.o.v. scenario's 3 en 5) geeft aan dat een slim ontwerp van de configuratie (locatie van putten, verdeling van debieten) cruciaal is. Zo is de weerstand van het basisveen, althans zoals nu bekend, klein genoeg om voldoende zoetwater naar de diepte te laten stromen en daarmee het Freshkeeper-principe effectief te laten zijn.

3.5.4 AANBEVELINGEN VOOR VERBETERD LOKAAL MODEL

Zoals eerder gesteld, zijn de configuraties van de brakwateronttrekkingen in de doorgekende scenario's nog niet geoptimaliseerd. Er wordt aanbevolen een dergelijke optimalisatie uit te voeren om de volle potentie van de brakwaterwinningen en het Freshkeeperprincipe goed in beeld te krijgen. In de optimalisatie kunnen de volgende vragen beantwoord worden:

1. Wat is de optimale positie van de onttrekkingen in de diepte:
 - a. In het tweede of derde watervoerende pakket, of beide?
 - b. Lateraal: bij de zeereep of vlak onder huidige bekkeninfiltratie?
 - c. Verticaal: aan basis van het pakket, of in het gehele pakket?
 - d. Zowel lateraal als verticaal (WVP3)
2. Wat zijn de optimale debieten voor optimale brakwaterkwaliteit en vergroting van de zoetwaterlens?
3. Wat zijn de locaties waar in perioden van innamestops (dus geen infiltratie via bekkensysteem) zo lang mogelijk zoetwater valt te winnen? En hoeveel? Dit is een belangrijke vraag t.b.v. bepaling van een eventuele strategische voorraad. Gemikt wordt op ca. 2-3 miljoen m³ gedurende ca. 3 maanden.

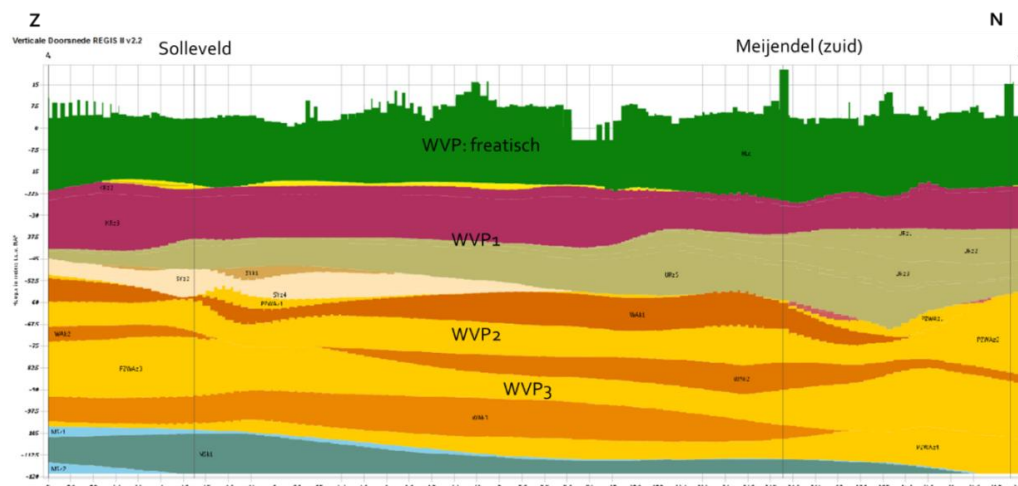
Andere vragen die na de eerste analyses binnen COASTAR in een vervolgtraject kunnen worden gesteld zijn:

4. Wat is de invloed van de (onzekere) weerstand van de eerste slecht-doorlatende laag (25000, 5000 / 500 / 50 dagen)?
5. Hoever verbeteren de schematisatie en parameterwaarden met een geologische schematisatie gebaseerd op GEOTOP (Van Der Meulen et al., 2013), waarbij meerdere realisaties van de ondergrond worden meegenomen? Wat is dan de meest waarschijnlijke range van weerstanden waarmee moet worden gerekend?
6. Onderzoeken of SkyTEM iets kan toevoegen aan de modellering.
7. Bepaal de impact op huidige bekkensysteem (stroomlijnen, verblijftijden, stroombanen percolaatwater puinduinen: bedreigen deze de huidige winning rondom het bekken of de strategische voorraad)?
8. Wat is de meerwaarde van toevoeging diepinfiltratie (WVP2: onder bekken Solleveld)?
9. Verificatie van de concentratie verdeling in referentie situatie met de in het veld gemeten ontwikkeling in de concentraties brakwater.
10. Onderzoek optie om diepinfiltratieputten te voeden met drains onder de infiltratiebekkens (infiltratie verloopt bij voorkeur met de huidige voorzieningen (bekkens). Diepinfiltratie alleen indien nodig i.v.m. intensieve voorzuivering / backflush).

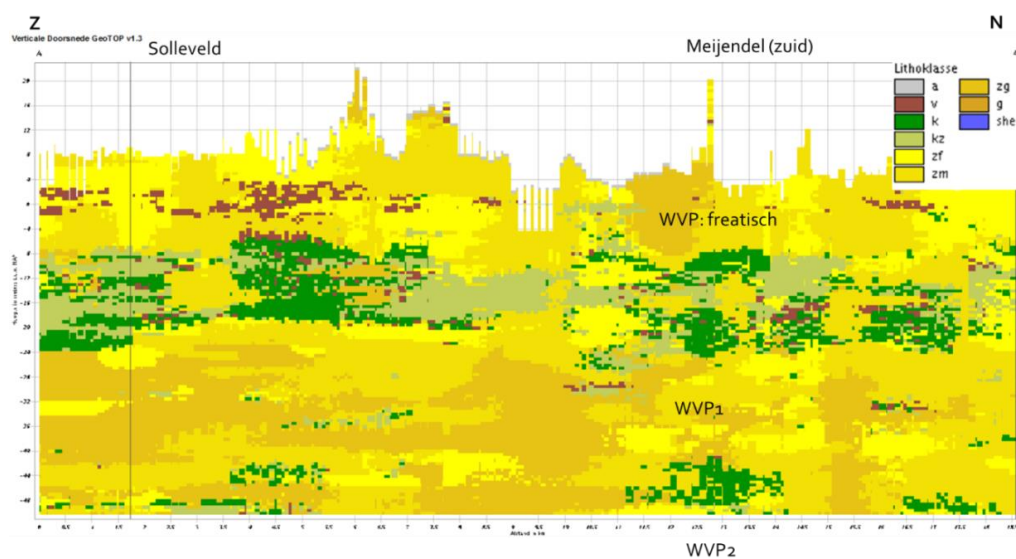
3.5.5 DOORKIJK NAAR BRAKwaterwinning ZUIDZIJDE MEIJENDEL

Bij de winningen van Dunea lijkt vooral de zuidzijde van het gebied Meijendel gevoelig voor verzilting, op basis van waarnemingen in het onttrokken water. Op basis van de geologie lijkt het principe van de Freshkeeper zoals toegepast bij Solleveld ook interessant voor Meijendel-Zuid. Op hoofdlijnen zijn de hydrogeologische omstandigheden vergelijkbaar. Aandachtspunten zijn:

- De scheidende lagen tussen WVP1 en WVP2 en tussen WVP2 en WVP3 zijn in noordelijke richting minder nadrukkelijk aanwezig dan bij Solleveld (Figuur 3-18);
- De scheidende laag (estuariene klei en basisveen) tussen het freatische en eerste watervoerende pakket heeft een zeer heterogeen karakter en is plaatselijk afwezig. Dit zal zowel de vergroting van de zoetwaterlens als de impact op grondwaterstanden kunnen beïnvloeden (Figuur 3-19).
- De situatie bij Meijendel is qua inrichting eenvoudiger dan bij Solleveld, zonder zandmotor en de daarbij behorende onttrekking.



FIGUUR 3-18. DOORSNEDEN GEOLOGISCH PROFIEL (LITHOLOGISCHE KARAKTERISATIE) ZUID-NOORD REGIS II 2.2.

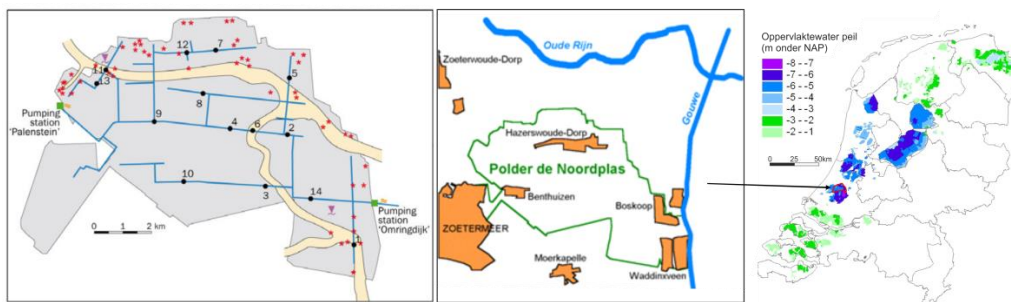


FIGUUR 3-19. DOORSNEDE ZUID-NOORD GEOTOP.

4 Verkenning brakwaterwinning in de Polder de Noordplas

4.1 BRAKKE KWELPROBLEMATIEK IN DE POLDER DE NOORDPLAS

De Polder de Noordplas is een diepe droogmakerij van 4500 hectare bij Hazerswoude, ten oosten van Zoetermeer (Figuur 4-1). De polder ligt vier tot vijf en halve meter onder zeeniveau waardoor er veel grondwater vanuit de omgeving naar het oppervlaktewatersysteem stroomt. De polder heeft te kampen met verzilting (concentraties zout > 200 mg Cl-/L) en eutrofiëring (hoge concentraties nutriënten zoals stikstof N en fosfaat P), waardoor dit water minder geschikt is als irrigatiewater voor landbouwdoeleinden of als inlaatwater voor natuurgebieden. Door de relatief hoge zoutvrachten uit de Polder de Noordplas wordt de gehele zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap van Rijnland op scherp gezet (Stuyt et al., 2013). In de Polder de Noordplas wordt het water nauwelijks direct gebruikt maar wordt het uitgemalen om het peil te handhaven. De concentratie van het uittredende grondwater en de situatie van de sterke omgevingstoestroming geven potentieel mogelijkheden voor brakwaterwinning.



FIGUUR 4-1. POLDER DE NOORDPLAS (UIT: DE LOUW ET AL., 2004; DE LOUW, 2013).

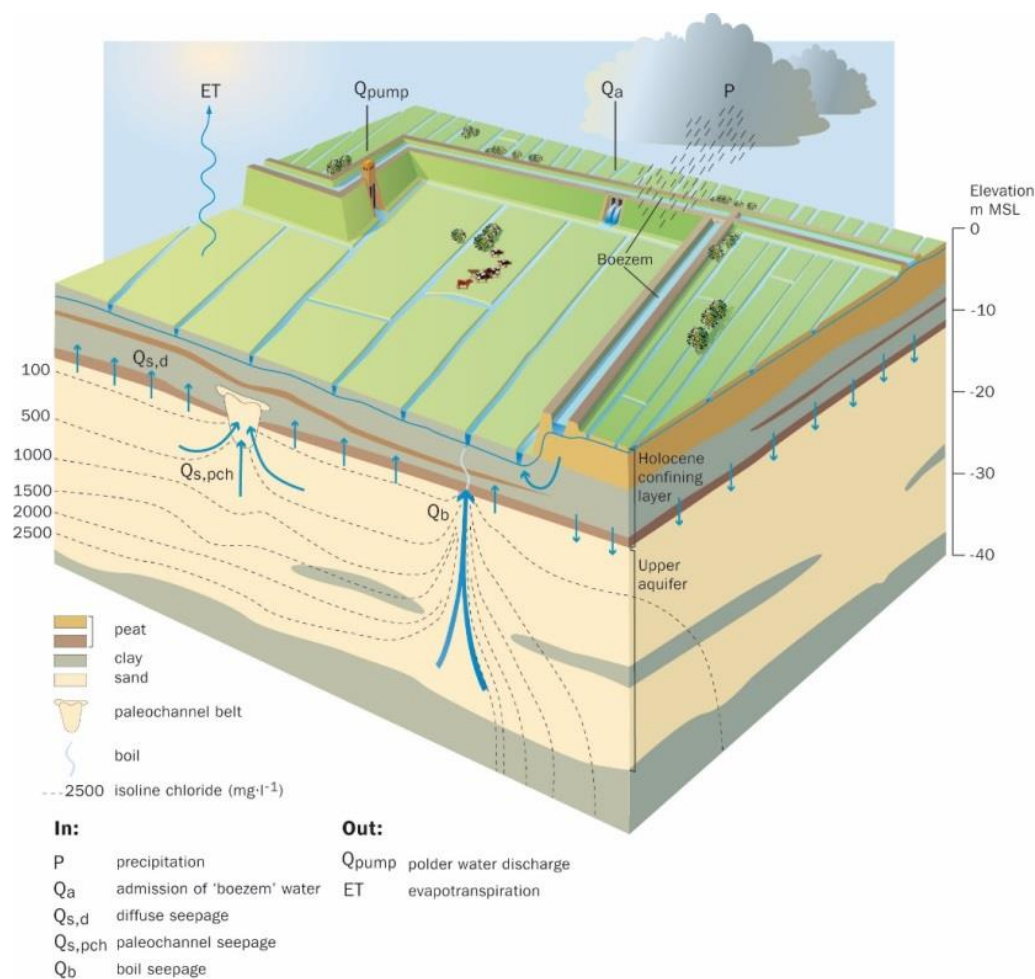
Tabel 4-1 geeft een overzicht van de kwel en de uitgaande fluxen. Gemiddeld wordt 300-400 mg Cl-/L uitgemalen (tevens hoge concentraties N en P); in droge periodes gaat de concentratie richting 700-800 mg Cl-/L.

TABEL 4-1. OVERZICHT VAN KWEL IN DE POLDER DE NOORDPLAS (DE LOUW ET AL., 2007)

Eigenschap	Grootte en eenheid
Kwel Polder de Noordplas	ongeveer 8 Mm ³ /jaar
- Waarvan diffuus	25%
- Waarvan uit zoute wellen	>60%
Afvoer uit de Polder de Noordplas	35 Mm ³ /jaar
Chloride concentratie afgevoerd water	364 mg Cl-/L

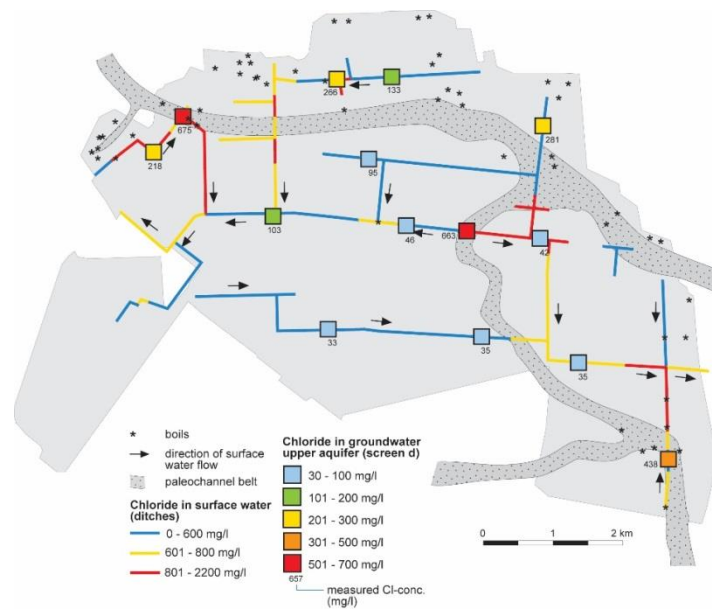
In de Polder de Noordplas is de kwel via zandbanen en wellen dominant (Figuur 4-2). Wellen in diepe polders zoals de Polder de Noordplas zijn gaten in de deklaag die min of meer open verbindingen vormen tussen het eerste watervoerende pakket en het oppervlak. Door deze gaten stroomt met grote snelheid grondwater vanuit het eerste watervoerende pakket naar de oppervlakte. Daarbij kan het water ook zand vanuit het eerste watervoerende pakket meenemen en worden de zogenaamde zandwellen gevormd. De hoge opwaartse snelheid kan leiden tot instabiliteit van de bodem waardoor

oevers kunnen inzakken of landbouwmachines kunnen wegzakken (drijfzandachtige omstandigheden). Vaak treedt met het water ook methaangas uit via de wellen. Door de snelle opwaartse stroming van dieper grondwater, heeft het uittredende welwater een relatief constante temperatuur van ongeveer 11 graden Celsius. Wellen hebben vaak meerdere uitstroomopeningen die zich in de deklaag hebben vertakt vanuit één bron. De (zoute) wellen dragen voor meer dan 60% bij aan de verzilting van het oppervlaktewater van de Polder de Noordplas (De Louw et al., 2010, 2011). Brakwaterwinning zal kunnen leiden tot een afname van de stijghoogte in de watervoerende pakketten met mogelijk als gevolg een afname van de verzilting door zoute wellen.

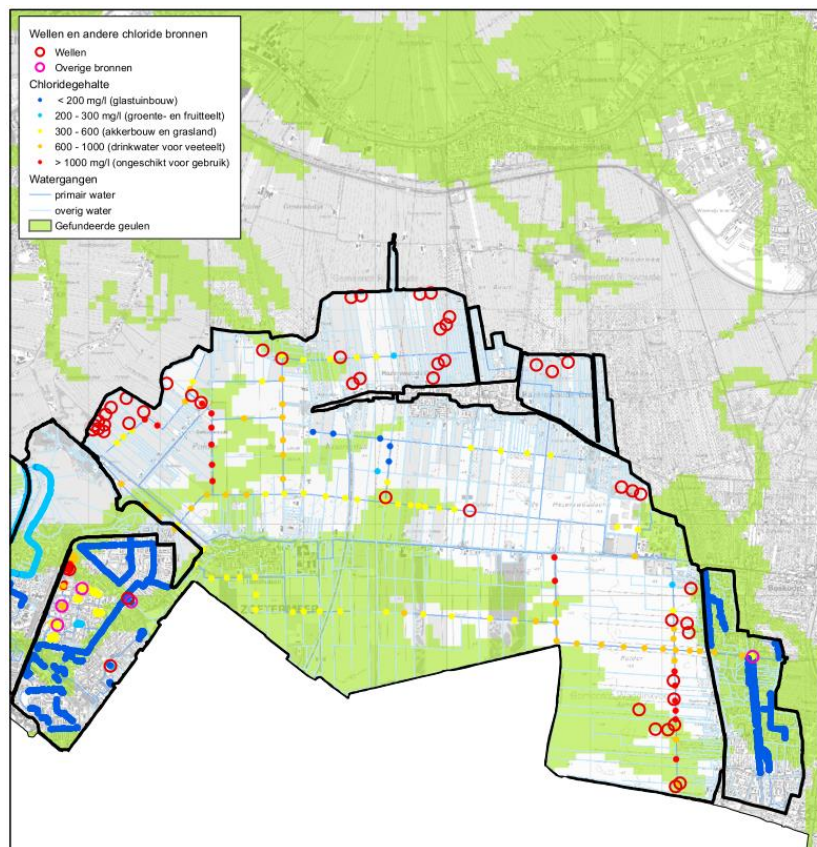


FIGUUR 4-2. DRIE TYPEN KWEL DIE VERSCHILLEN IN FLUX EN ZOUTGEHALTE. HOE GROTER DE FLUX, HOE DIEPER HET GRONDWATER DAT WORDT AANGETROKKEN EN HOE ZOUTER (BRON: DE LOUW, 2013).

Metingen laten zien hoe de zoutvracht naar het oppervlak ruimtelijk verdeeld is (Figuur 4-3). De wellen in de Polder de Noordplas komen vooral voor op plaatsen met zandbanen in de ondergrond en aan de rand van de polder met de grootste kweldruk (Figuur 4-4).



FIGUUR 4-3. HOGE ZOUTCONCENTRATIE IN DE NOORDPLAS POLDER (OPPERVLAKTEWATER EN GRONDWATER)(BRON: DE LOUW ET AL. 2010)



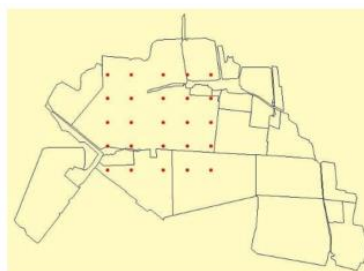
FIGUUR 4-4. WELLEN EN ANDERE CHLORIDE BRONNEN IN DE POLDER DE NOORDPLAS (HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND, N.D.).

4.2 EERDER ONDERZOEK NAAR AFVANG KWELWATER POLDER DE NOORDPLAS

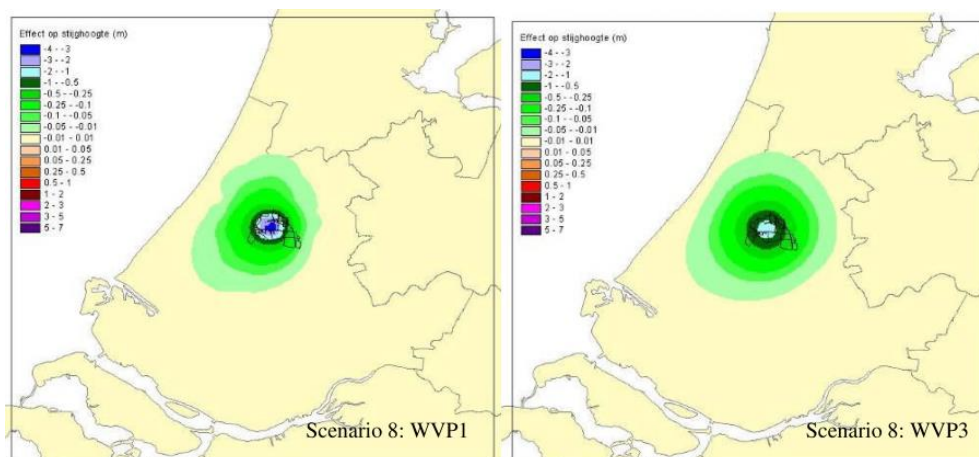
Eerder is voor de Polder de Noordplas onderzocht hoe de brakke kwel verminderd kan worden (De Louw et al., 2007). Ten tijde van deze studie werd het winnen van brakke kwel niet als kansrijk gezien, vanwege de relatief hoge kosten (ten opzichte van o.a. afdichten van wellen en verhoging slootpeil) en de afvoer van het concentraat. De modelstudie in De Louw et al. (2007) laat zien dat een winning van 25 Mm^3/jaar in het eerste watervoerende pakket met behulp van 25 onttrekkingsputten (Figuur 4-5) zou kunnen leiden tot een kwelreductie van 4.3 Mm^3/jaar in de Polder de Noordplas zelf en een reductie van meer dan 20 Mm^3/jaar buiten deze polder. Daarnaast zou een deel van het gebied veranderen van een kwelgebied in een infiltratiegebied. In het geval dat het gewonnen water volledig in het derde watervoerende pakket (zijnde het watervoerende pakket onder de Formatie van Tegelen /Belfeld op ongeveer 100-130m diepte) zou worden geïnfiltreerd (geretourneerd), zou er een kwelreductie van 2.4 Mm^3/jaar in de polder plaatsvinden, en een toename van 1.3 Mm^3/jaar buiten de polder (terwijl ook de infiltratie afneemt), omdat de stijghoogten buiten de polder ook beïnvloed worden (Figuur 4-6).

De auteurs merken op dat om brakke kwel effectief tegen te gaan, de brakke kwel gewonnen moet worden op locaties waar de meeste kwel plaatsvindt. In Oude Essink and Forzoni (2017) wordt de ruimtelijke verdeling van de chloride concentratie in het oppervlaktewater weergegeven.

In De Louw et al (2007) is tevens een inschatting gegeven van de benodigde infrastructuur voor de afvoer van 5 Mm^3/jaar kwelwater naar boezemgemaal Katwijk. Deze komt uit op 9M€ voor een persleiding vanuit het westen van de Polder de Noordplas naar Katwijk, met een totale lengte van 27 km en 3 pompen met 1^e en 2^e booster pomp.



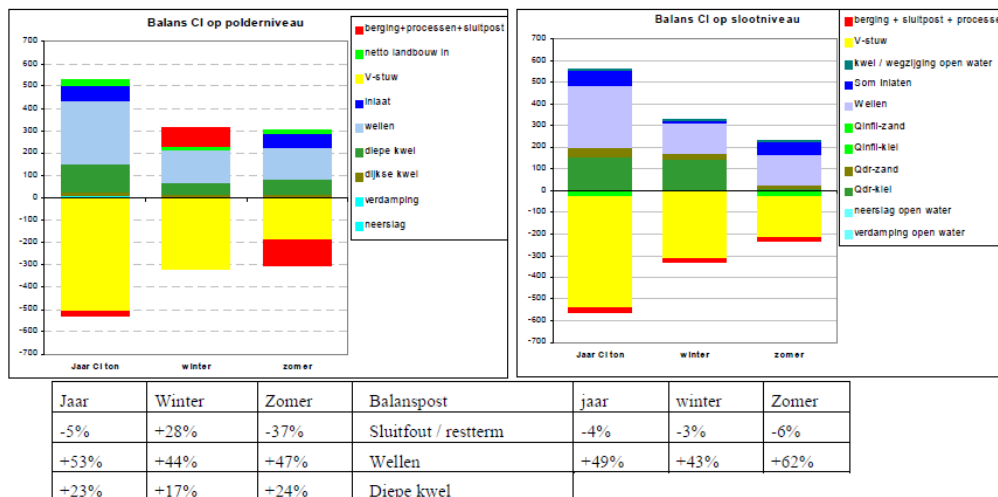
FIGUUR 4-5. DE 25 ONTTREKKINGSPUTTEN IN DE POLDER DE NOORDPLAS (DE LOUW ET AL., 2007).



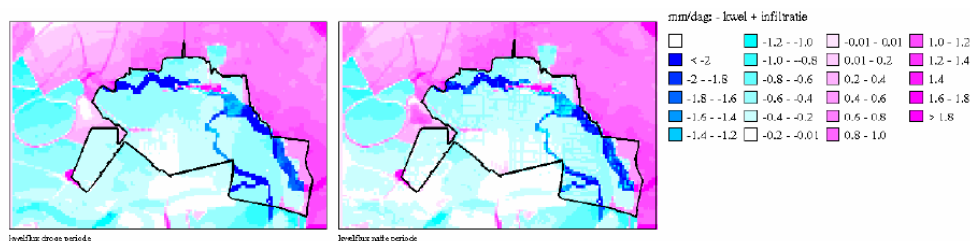
FIGUUR 4-6. EFFECTEN VAN WINNING (EN AFVOER VAN BRAKWATER UIT HET GEBIED) VAN 25 MILJOEN M^3/JAAR OP DE STIJGHOOGTEN IN HET EERSTE EN DERDE WATERVOERENDE PAKKET (DE LOUW ET AL., 2007).

4.3 VERKENNING ONTWERP BRAKWATERWINNING POLDER DE NOORDPLAS

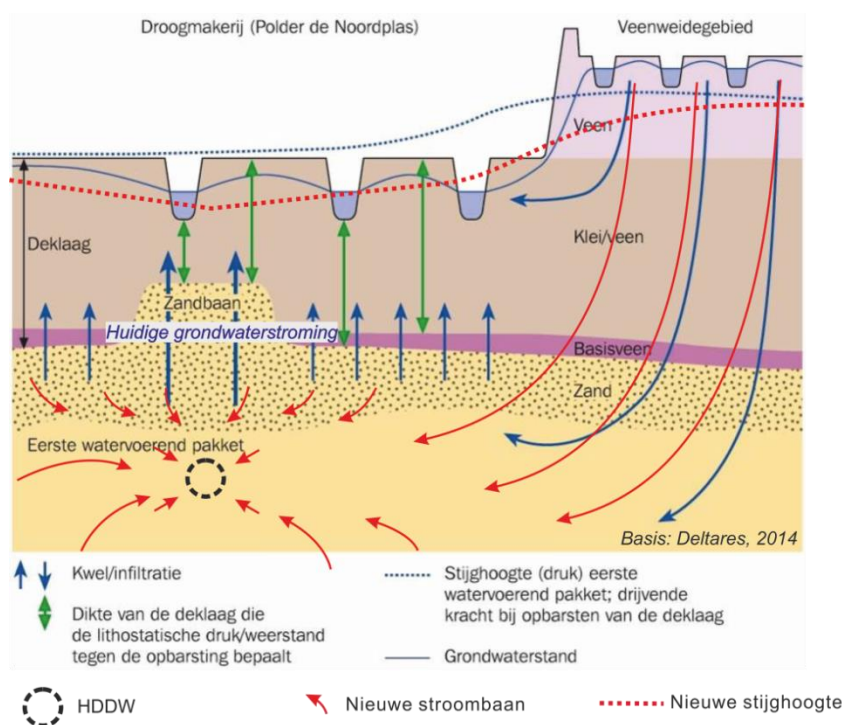
Aangezien de meeste kwel plaatsvindt via wellen (Figuur 4-7), die vooral voorkomen op locaties waar de zandbanen liggen (Figuur 4-8), zou het vermoedelijk het meest efficiënt zijn om water te winnen op deze locaties. 'Horizontal Directional Drilled Wells' (HDDW), horizontaal aangelegde putten, vormen mogelijk een efficiënte wijze om dit water te winnen, omdat hiermee per put relatief veel kwel afgevangen kan worden (Figuur 4-9).



FIGUUR 4-7. CHLORIDEBALANS VOOR DE POLDER DE NOORDPLAS OP POLDERNIVEAU EN SLOOTNIVEAU (DE LOUW ET AL., 2007)



FIGUUR 4-8. KWEL EN INFILTRATIEINTENSITEIT IN DE POLDER DE NOORDPLAS (DE LOUW ET AL., 2007). DE ZANDBANEN VALLEN IN BLAUW OP DOORDAT HIER MEER KWEL PLAATSVINDT.

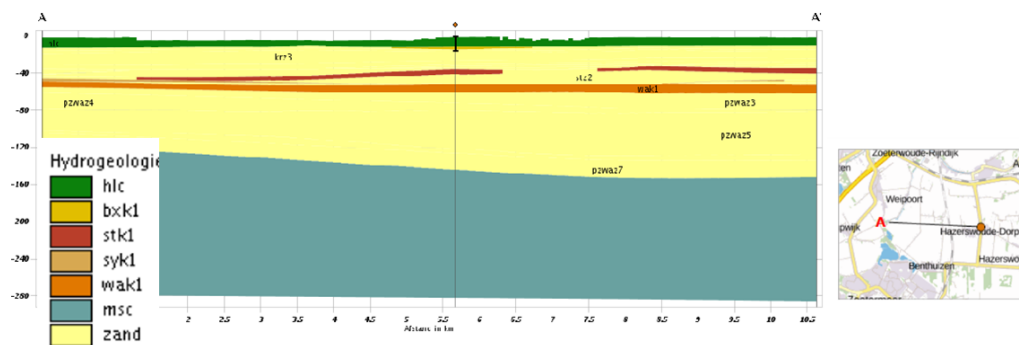


FIGUUR 4-9. GRONDWATERSTROMING NAAR / ONDER DE POLDER DE NOORDPLAS MET DE WINNING VAN BRAK GRONDWATER MIDDELS EEN HDDW ('HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLED WELLS') (AANGEPAST NAAR: (DE LOUW ET AL., 2007)).

De waterkwaliteit van het eerste watervoerende pakket verschilt sterk per locatie en diepte (Tabel 4-2), onder andere vanwege dichtheids- en stromingseffecten in het grondwatersysteem. Na ontzilting van het gewonnen water blijft concentraat over, dat relatief hoge concentraties stoffen bevat. Om een idee te krijgen over welke stoffen en concentraties het gaat in het overgebleven concentraat geeft een verdubbeling van de concentraties in het eerste watervoerende pakket een eerste indicatie (Tabel 4-2). Om te kunnen overwegen of lozing in het tweede (of derde) watervoerende pakket een optie is, moeten deze (verdubbelde) concentraties vergeleken worden met de grondwaterkwaliteit gegevens in dit pakket. Deze informatie is overigens niet altijd beschikbaar in DINO-loket (grondwaterkwaliteitsgegevens zijn meestal beschikbaar tot 40 m beneden NAP, zie Figuur 4-10 voor de gelaagdheid), dus additionele metingen zullen waarschijnlijk nodig zijn.

TABEL 4-2. GESCHATTE RANGES VAN MACRO-CHEMIE CONCENTRATIES VAN GRONDWATER IN EERSTE WATERVOERENDE PAKKET (OP BASIS VAN BIJLAGE 3.3 IN DE LOUW ET AL. (2004) EN DE LOUW ET AL. (2012) .

Stoffen (mg l ⁻¹)	1 ^e watervoerende pakket (±10 – 40 m-NAP)
Cl-	50 – 3000 (400-610)
N-ammonium	15-36
N- nitraat en nitriet	<0.06-0.17
N-totaal	18-39
P-totaal	1.7-6.1
SO ₄	<10
HCO ₃	860-1300
Ca	79-160
K	28-46
Mg	86-100
Na	280-480
Fe	3-25



FIGUUR 4-10. DOORSNEDE VAN DE ONDERGROND IN DE POLDER DE NOORDPLAS (REGIS).

4.4 OPZET NADER ONDERZOEK BRAKWATERWINNING POLDER DE NOORDPLAS

4.4.1 UITGANGSPUNTEN POLDER DE NOORDPLAS

Op basis van De Louw et al. (2011, 2010) zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd voor optimale brakwateronttrekking:

- Het onttrokken brakwater blijft anoxisch tot aan Reverse-Osmosis-installatie;
- De onttrekking leidt tot een verlaging van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket van ca. 1.5 m om het verschil in stijghoogte en oppervlaktewaterpeil weg te nemen;
- De stijghoogteverlaging treedt bij voorkeur op in een zone met wellen / zandbanen;
- Er wordt ook niet te veel onttrokken zodat slotwater kan gaan infiltreren. om onttrekking van mogelijk verontreinigd (oppervlakte)water te voorkomen;
- De inrichting heeft verwaarloosbare effecten in de omgeving (verdroging, zetting, etc.)

4.4.2 ANALYSE MOGELIJKE WINLOCATIES OF WINSYSTEMEN

De verschillende opties die zijn onderkend zijn in Tabel 4-3 weergegeven.

TABEL 4-3. OVERZICHT: EVALUATIE MOGELIJKE WINLOCATIES.

Optie	Zonering	Puttype	Voordelen	Nadelen	Oordeel
A	Hele polder	Verticaal	Bewezen techniek, hele gebied wordt aangepakt	Leidingwerk, ook afvang van 'zoet' grondwater. Alleen effect rond onttrekkingsput?	Robuust, maar ook duur en overdadig
B	Noordelijke zone	Verticaal	Bewezen techniek, probleemzones aangepakt	Nog steeds relatief veel leidingwerk. Alleen effect rondom onttrekkingsput? (lokaal)	Mogelijk, maar leidingwerk en reikwijdte dienen onderzocht te worden
C	Hele polder	Horizontaal	Spreiding effecten: grotere zones met streef-stijghoogte. Minder afvang nodig? Leidingwerk beperkt	Puttechnologie is in ontwikkeling. Onzekerheid in aanloop (pilot vereist)	Potentieel interessant, maar wellicht overdadig
D	Noordelijke zone	Horizontaal	Met beperkt leidingwerk de probleemzone mogelijk effectief aangepakt	Puttechnologie is in ontwikkeling. Onzekerheid in aanloop (pilot vereist)	Potentieel interessant

4.4.3 VRAGEN OM TE BEANTWOORDEN BINNEN DIT ONDERZOEK

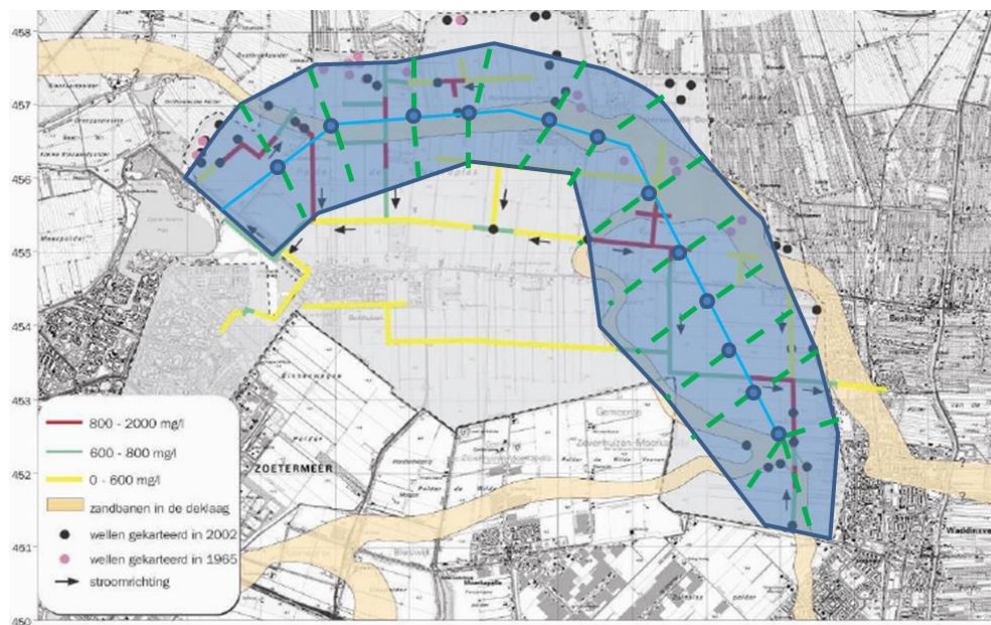
In deze verkennende modelstudie worden vier vragen beantwoord:

1. Hoe groot is de afname van de zoutvracht in de Polder de Noordplas (en omliggende polders)?
2. In hoeverre wordt de stijghoogte verlaagd?
3. In welke mate verandert de zoet-zout verdeling?
4. Wat is de concentratie van het onttrokken (brakke) grondwater als functie van de tijd?

Met het model wordt gekeken wat de effecten zijn van onttrekkingsdebieten op stijghoogte, zout-zout verdeling in de ondergrond en kwel en zoutvracht naar het oppervlaktewatersysteem. Bij de beantwoording van bovenstaande vragen is uitgegaan van de windebieten en opties voor lozing van het concentraat die zijn weergegeven in Tabel 4-4.

TABEL 4-4. TE TESTEN VARIABLEN IN VERKENNING

Variabele	Uitgangspunten
Locatie onttrekking	• Noordelijke zone (zie Figuur 4-11).
Debieten	• 40 m³/h per bron (960 m³/d) om te voldoen aan NVOE-norm (diameter 600 mm). Aanname: hetzelfde voor horizontale putten. • Onttrekken brak: 8 Mm³/jaar (om 4 Mm³ zoet te produceren) • 23 putten in eerste watervoerend pakket. Verspreid in de noordelijke zone. Zie Figuur 4-11 voor horizontale putten (diepte: enkele meters onder deklaag)
Lozing concentraat	• Niet in de ondergrond (afvoer naar zee) • of: 50% van het onttrekkingsdebiet met dubbele concentratie (onttrekkingsconcentratie uit vorige tijdstap verdubbelen en inlezen). Lozen in het tweede en derde watervoerend pakket.



FIGUUR 4-11. POTENTIËLE ZONE VOOR BRAK GRONDWATER ONTTREKKING IN DE POLDER DE NOORDPLAS (MET PUTTENVELD BESTAANDE UIT HORIZONTALE PUTTEN TER ILLUSTRATIE).

4.5 UITKOMSTEN NADER ONDERZOEK MIDDELS MODELLERING

4.5.1 OPZET BEREKENINGEN

Voor de berekeningen is het 3D zoet-zout model van de Provincie Zuid-Holland (Minnema et al., 2004; Oude Essink et al., 2008, 2010) gebruikt dat op verschillende momenten in de tijd onder meer de kwel, chloride concentratie en zoutvracht naar het oppervlaktewater berekent. Daarmee geeft de modellering inzicht in de regionale gevolgen van een brakwaterwinning. De celgrootte van $250 \times 250 \text{ m}^2$ is weliswaar grof om lokale geohydrologische processen mee te nemen, zoals de stroming van grondwater en zout naar het oppervlaktewater systeem ter plaatse van zandbanen en wellen, maar als eerste schatting van de mogelijke effecten is het afdoende.

Met het model is een vijftal scenario's doorgerekend over een periode van 100 jaar. De inrichting van onttrekkings- en infiltratiebronnen is beschreven in Tabel 4-4. Het winveld bevindt zich alleen in de noordelijke zone van de Polder de Noordplas (Figuur 4-11):

Scenario 0:

Referentiesituatie, waarin het autonome verziltingsproces wordt gesimuleerd. Bij autonome verzilting komt zout grondwater van grotere diepte langzaam naar boven doordat de zoet-zout verdeling in het grondwatersysteem nog niet in evenwicht is met de ingrepen (inpolderingen) in het landschap van de laatste eeuwen (Delsman et al., 2014; Oude Essink et al., 2010).

Scenario 1:

Plaatsing van 23 onttrekkingen (verdeeld zie Figuur 4-12) à $40 \text{ m}^3/\text{uur}$ in het eerste watervoerend pakket (tussen -15 en -35m NAP), in totaal $8 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$.

Scenario 2:

Gelijk aan scenario 1 mét daarbij 23 infiltratieputten à $20 \text{ m}^3/\text{uur}$ in het tweede watervoerend pakket (tussen -60 en -75m NAP), in totaal $4 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$, met een verdubbeling van de concentratie uit de winputten uit het eerste watervoerend pakket.

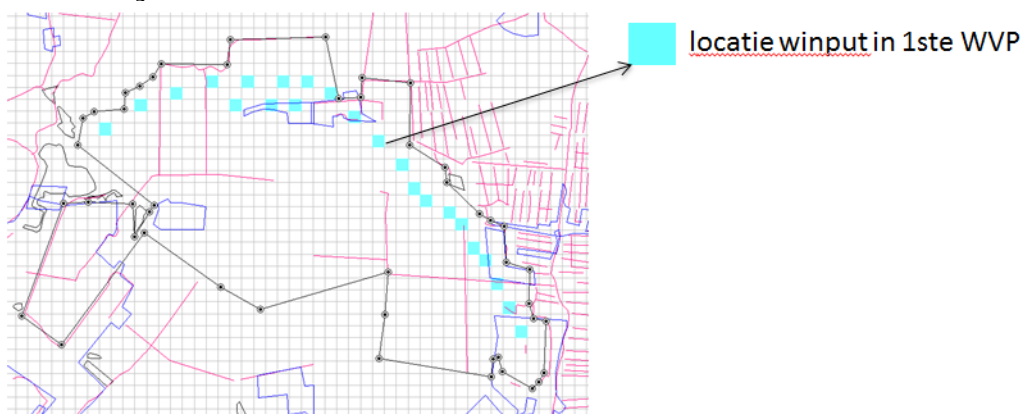
Scenario 3:

Plaatsing van 23 onttrekkingen à $40\text{m}^3/\text{uur}$ in het tweede watervoerend pakket (tussen -60 en -75 NAP), in totaal $8\text{Mm}^3/\text{jaar}$.

Scenario 4:

Gelijk aan scenario 3 met daarbij 23 infiltratieputten à $20\text{m}^3/\text{uur}$ in het derde watervoerend pakket (tussen -95 en -120m NAP), in totaal $4\text{Mm}^3/\text{jaar}$, met een verdubbeling van de concentratie uit de winputten uit het tweede watervoerend pakket.

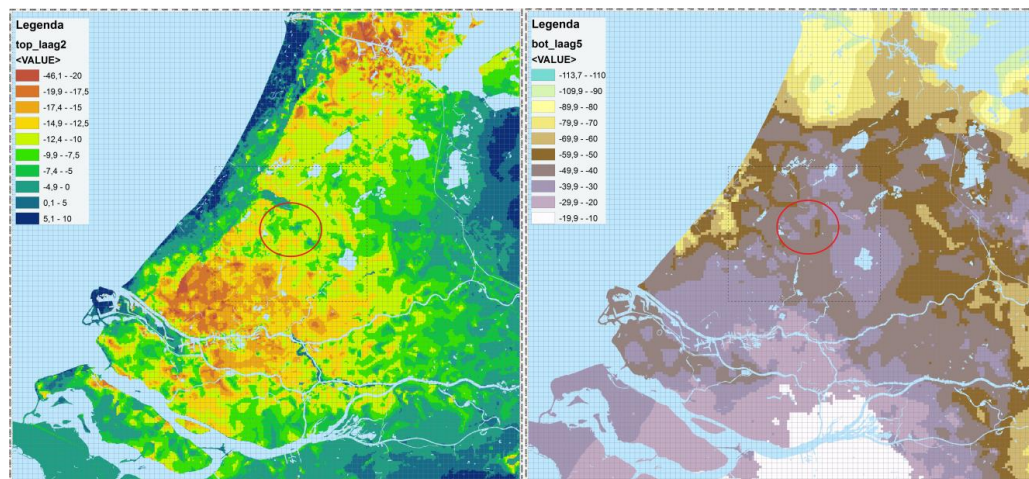
De exacte locaties van de winputten is weergegeven in Figuur 4-12. De scenario's 1 en 2 zijn gericht op afname van de kwel en zoutvracht terwijl scenario's 3 en 4 zijn gericht op de toename van het volume zoet tot brak grondwater.



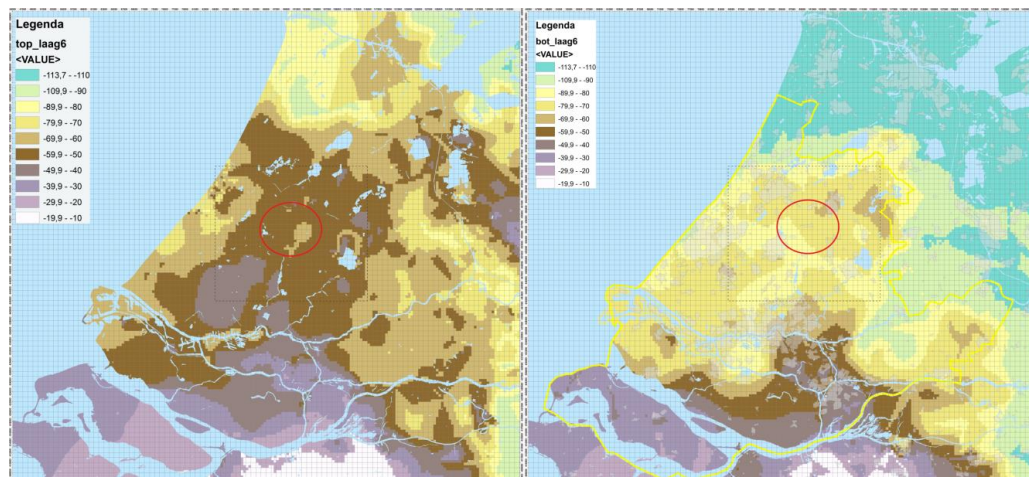
FIGUUR 4-12. DE LOCATIES VAN DE 23 WINPUTTEN IN HET EERSTE WATERVOEREND PAKKET IN HET NOORDELIJK DEEL VAN DE POLDER DE NOORDPLAS.

In deze studie wordt de definitie van de Provincie Zuid-Holland voor laagopbouw van de ondergrond aangehouden (zie o.a. Minnema et al., 2004; Oude Essink, 2017):

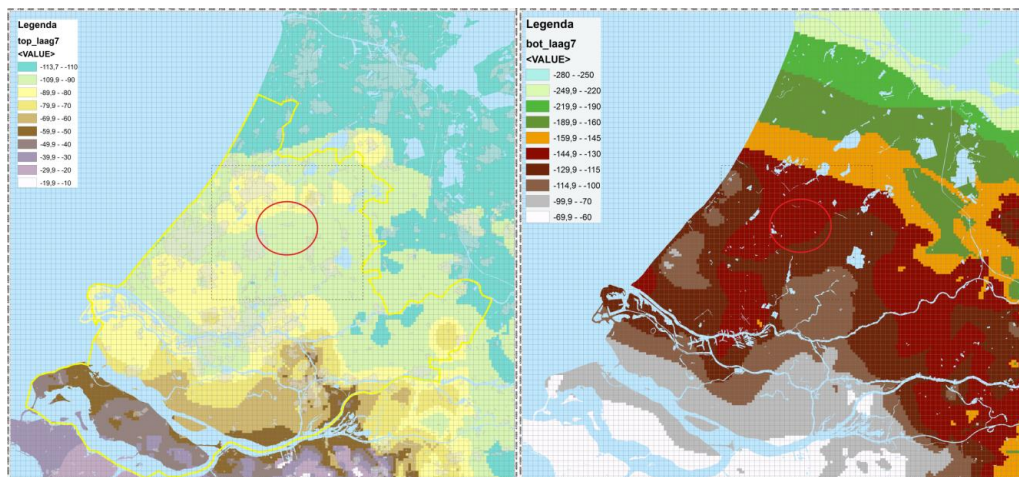
- WVP1: Watervoerende lagen tussen deklaag en formatie Kedichem, Figuur 4-13
- WVP2: Watervoerende lagen tussen formatie Kedichem en formatie Tegelen, Figuur 4-14
- WVP3: Watervoerende lagen tussen formatie Tegelen en formatie Maassluis, Figuur 4-15



FIGUUR 4-13. DE DIEPTELIGGING VAN DE BOVEN- (LINKS) EN ONDERKANT (RECHTS) VAN HET EERSTE WATERVOERENDE PAKKET, OMCIRKELD IS DE LOCATIE VAN DE POLDER NOORDPLAS.



FIGUUR 4-14. DE DIEPTELIGGING VAN DE BOVEN- (LINKS) EN ONDERKANT (RECHTS) VAN HET TWEDE WATERVOERENDE PAKKET, OMCIRKELD IS DE LOCATIE VAN POLDER DE NOORDPLAS.



FIGUUR 4-15. DE DIEPTELIGGING VAN DE BOVEN- (LINKS) EN ONDERKANT (RECHTS) VAN HET DERDE WATERVOERENDE PAKKET, OMCIRKELD IS DE LOCATIE VAN DE POLDER DE NOORDPLAS.

4.5.2 RESULTATEN

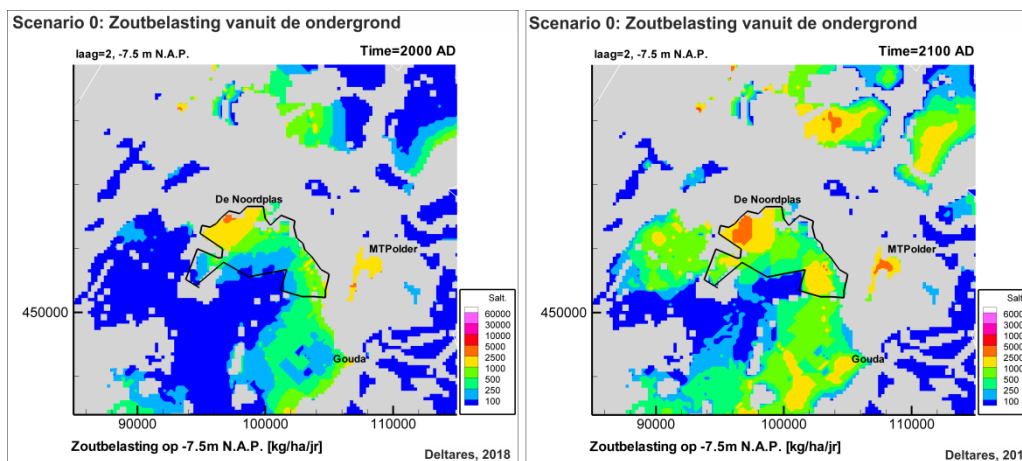
In deze sectie passeren de verschillende scenario's de revue. Tabel 4-5 geeft de criteria weer die zijn gebruikt bij de beoordeling van de te verkennen scenario's.

TABEL 4-5. BEOORDELINGSCRITEIA VERKENNING

Criterium	Focus
Stijghoogte / zoutvracht / kwel	Hoeveel reductie is haalbaar?
Zoutconcentratie brakke grondwater	Van belang is of de brakwaterconcentraties niet teveel oplopen i.v.m. efficiëntie van ontzilting.
Impact omgeving	Stijghoogtes rondom de winning.
Mogelijk infiltratie vanuit deklaag	Risico infiltratie van slootwater

Scenario 0: Referentiesituatie

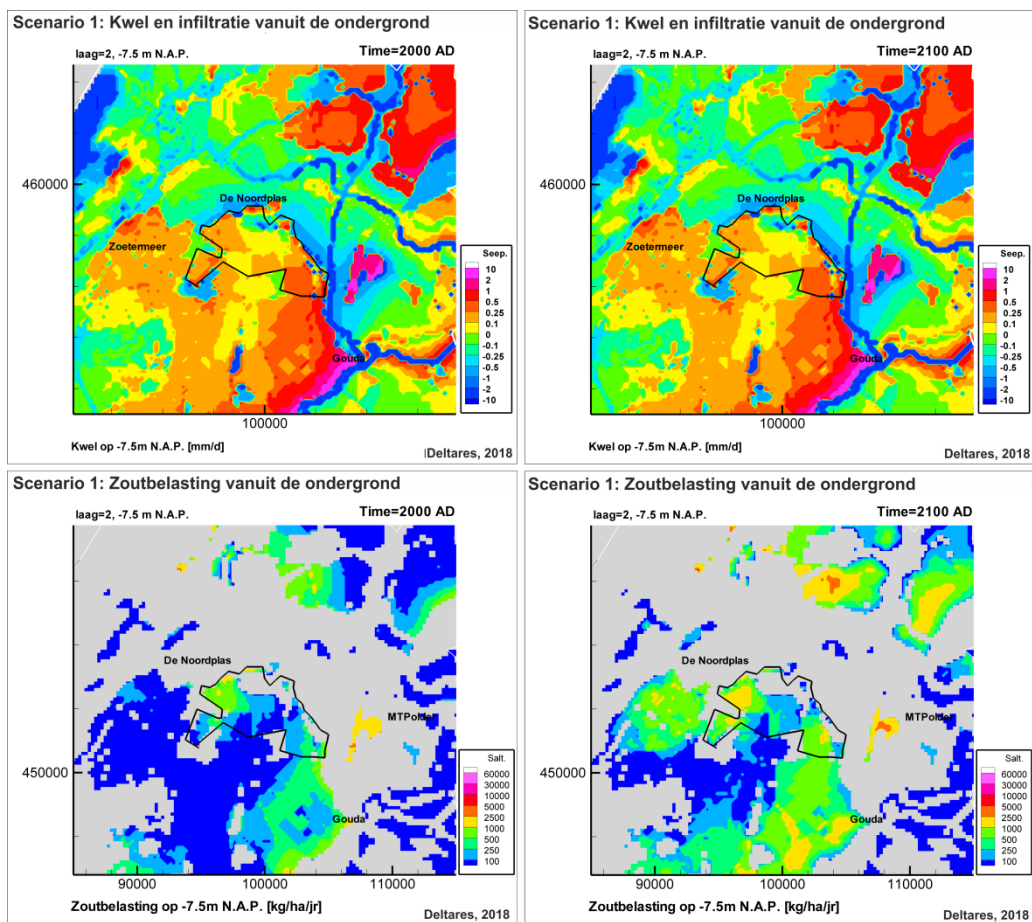
Het autonome verziltingproces in het grondwatersysteem onder de Polder de Noordplas gaat de komende 100 jaar nog steeds door, zodat de zoutvracht nog steeds toeneemt. Dit is te zien in Figuur 4-16. De zoutvracht neemt in het noordwestelijk deel van de Polder de Noordplas toe tot boven de 2500 kg/ha/jaar, terwijl in het zuidelijk deel waarden onder de 250 kg/ha/jaar nauwelijks meer zullen voorkomen. Dit autonome proces is een belangrijke ontwikkeling die moet worden meegenomen in de analyse van de verschillende scenario's.



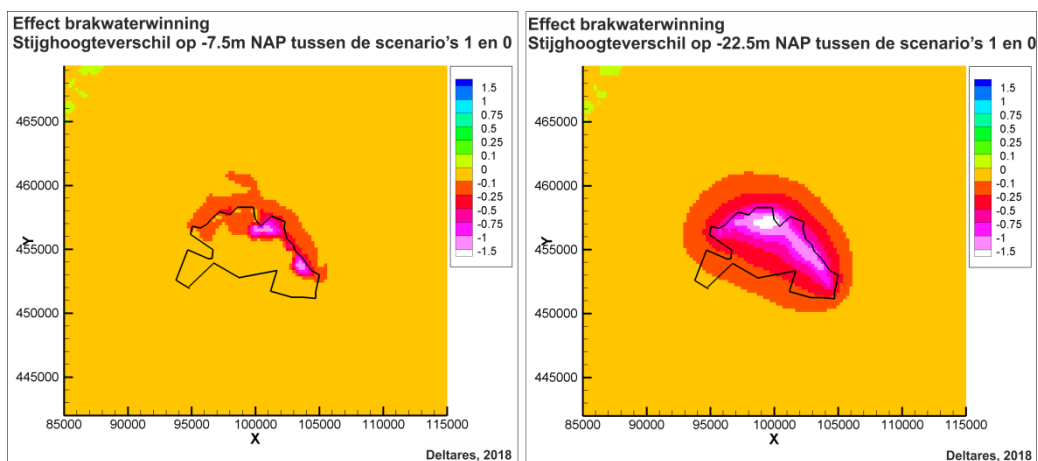
FIGUUR 4-16. ZOUTVRACHT VANUIT DE ONDERGROND IN DE REGIO VAN DE POLDER DE NOORDPLAS: LINKS DE HUIDIGE ZOUTVRACHT IN HET SCENARIO 0 (REFERENTIESITUATIE), EN RECHTS: DE TOEKOMSTIGE ZOUTVRACHT IN HET SCENARIO 0 (REFERENTIESITUATIE) OVER 100 JAAR.

Scenario 1

De resultaten voor scenario 1 ($8 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ uit 1^{ste} WVP) zijn weergegeven in Figuur 4-17 (kwel/infiltratie en zoutvracht) en Figuur 4-18 (verandering stijghoogten). Onder scenario 1 verandert het kwel- en infiltratie-patroon over de komende 100 jaar nauwelijks, maar er is wel een lichte toename van de verzilting waar te nemen ten opzichte van de huidige situatie. Vergelijking van de zoutvracht van scenario 0 (Referentiesituatie, Figuur 4-16 rechts) met die in scenario 1 ($8 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ uit 1^{ste} WVP, Figuur 4-17 rechtsonder) laat een significante afname zien in de Polder de Noordplas. Dit is het meest opvallende effect aan het oppervlak van een brakwaterwinning.



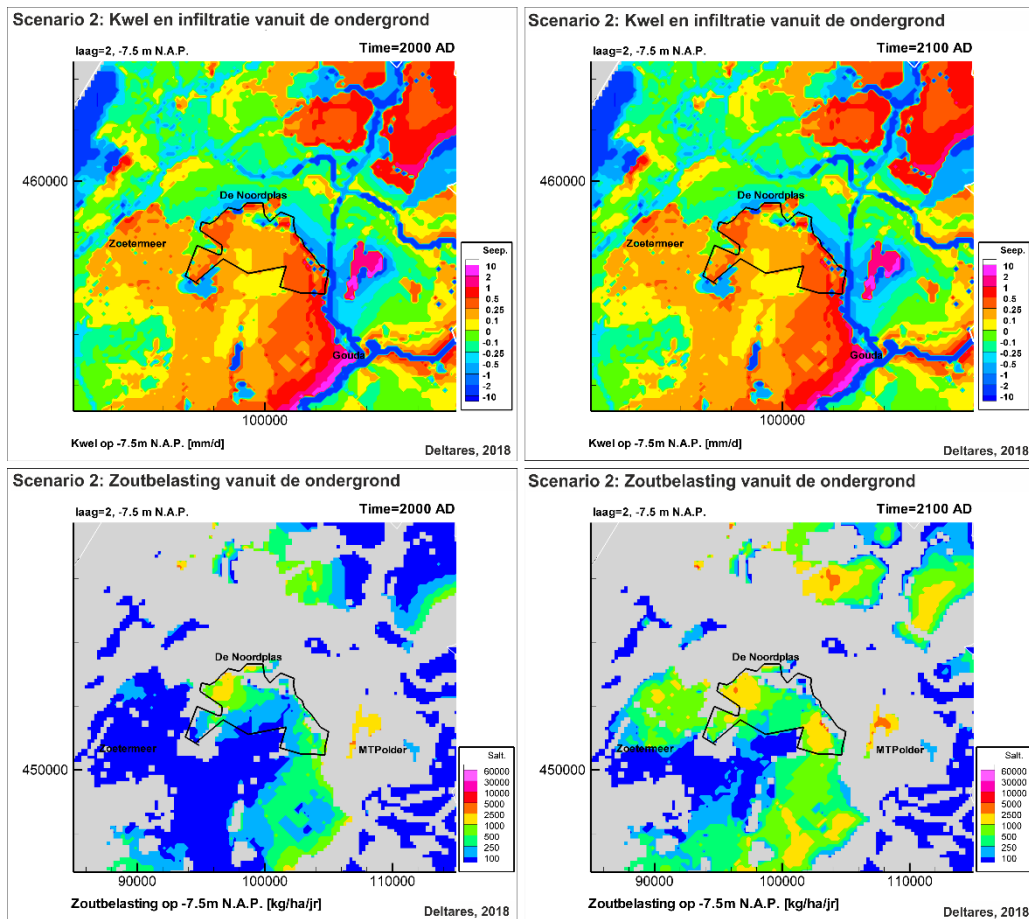
FIGUUR 4-17. EFFECT VAN BRAKWATERWINNING, SCENARIO 1: VERANDERING KWEL/INFILTRATIE (BOVEN) EN ZOUTVRACHT (ONDER) IN DE HUIDIGE SITUATIE (LINKS) EN OVER DE KOMENDE 100 JAAR (RECHTS).



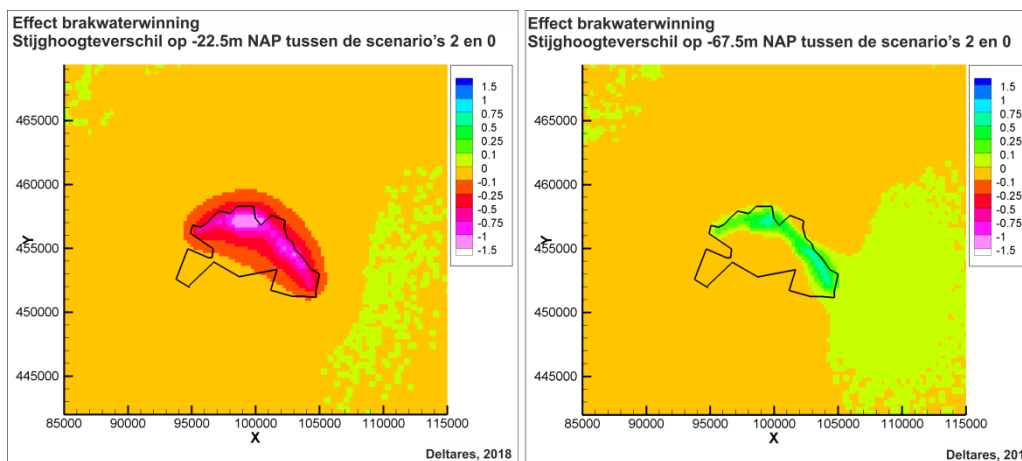
FIGUUR 4-18. VERANDERINGEN IN STIJGHOOGTE IN DE OMGEVING VAN DE POLDER DE NOORDPLAS ALS GEVOLG VAN DE BRAKWATERWINNINGEN VAN SCENARIO 1. LINKS: VERSCHIL IN STIJGHOOGTE TUSSEN HET REFERENTIE SCENARIO 0 EN SCENARIO 1 IN HET EERSTE WATERVOEREND PAKKET (-7.5m NAP); RECHTS: IDEM IN HET TWEEDE WATERVOEREND PAKKET (-22.5m NAP).

Scenario 2

De resultaten voor scenario 2 (8 Mm³/jaar uit 1ste WVP plus 4 Mm³/jaar in 2de WVP) zijn weergegeven in Figuur 4-19 (kwel/infiltratie en zoutvracht) en Figuur 4-20 (verandering stijghoogten).



FIGUUR 4-19. EFFECT VAN BRAKWATERWINNING, SCENARIO 2: VERANDERING KWEL/INFILTRATIE (BOVEN) EN ZOUTVRACHT (ONDER) IN DE HUIDIGE SITUATIE (LINKS) EN OVER DE KOMENDE 100 JAAR (RECHTS).

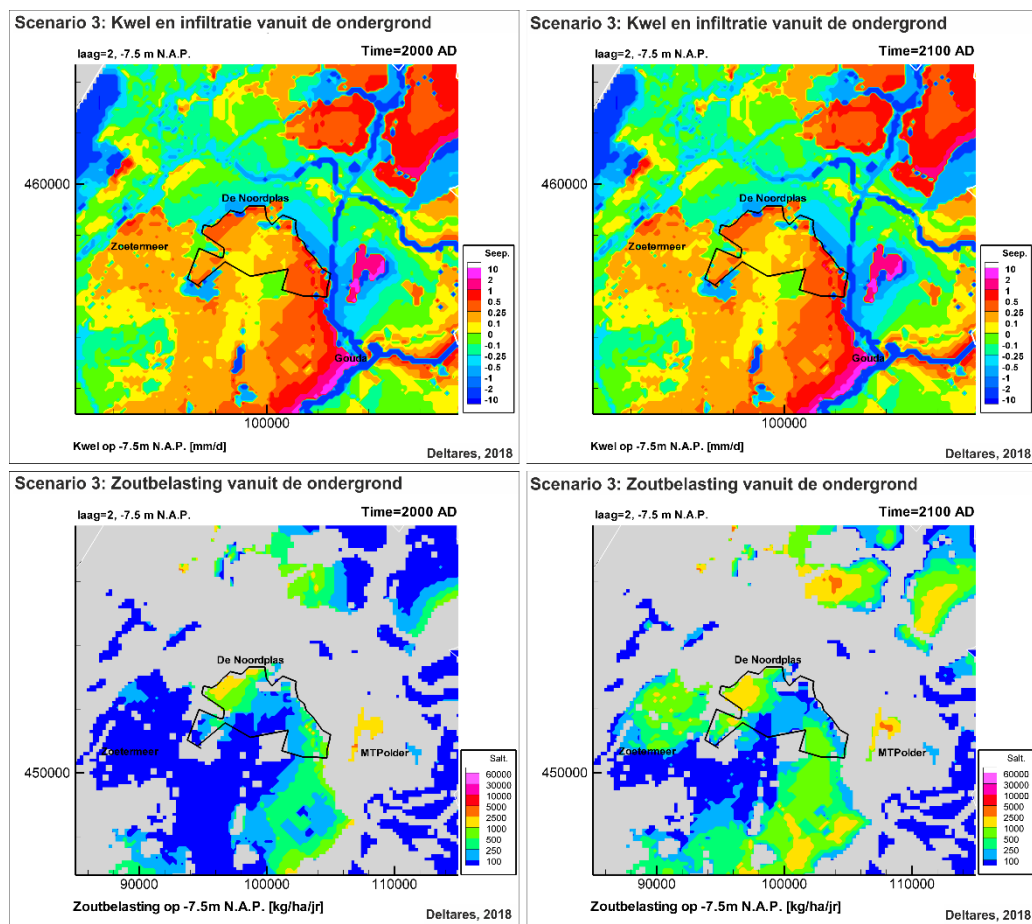


FIGUUR 4-20. VERANDERINGEN IN STIJGHOOGTE IN DE OMGEVING VAN DE POLDER DE NOORDPLAS ALS GEVOLG VAN DE BRAKWATERWINNINGEN VAN SCENARIO 2. LINKS: VERSCHIL IN STIJGHOOGTE TUSSEN HET REFERENTIE SCENARIO 0 EN SCENARIO 2 IN HET EERSTE WATERVOEREND PAKKET (-22.5M NAP); RECHTS: IDEM IN HET TWEEDE WATERVOEREND PAKKET (-67.5M NAP).

Ook onder scenario 2 verandert het patroon van kwel en infiltratie over de komende 100 jaar nauwelijks. Er is net als in scenario 1 een lichte toename van de verzilting waar te nemen ten opzichte van de huidige situatie. Als je de zoutvracht van scenario 0 (Referentiesituatie, Figuur 4-16 rechts) vergelijkt met scenario 2 (8 Mm³/jaar uit 1^{ste} WVP plus 4 Mm³/jaar in 2^{de} WVP, Figuur 4-19 rechtsonder) dan is ook hier een significante afname waarneembaar in de Polder de Noordplas. Toch is de afname iets kleiner dan onder scenario 2 (8 Mm³/jaar uit 1^{ste} WVP, Figuur 4-17 rechtsonder).

Scenario 3

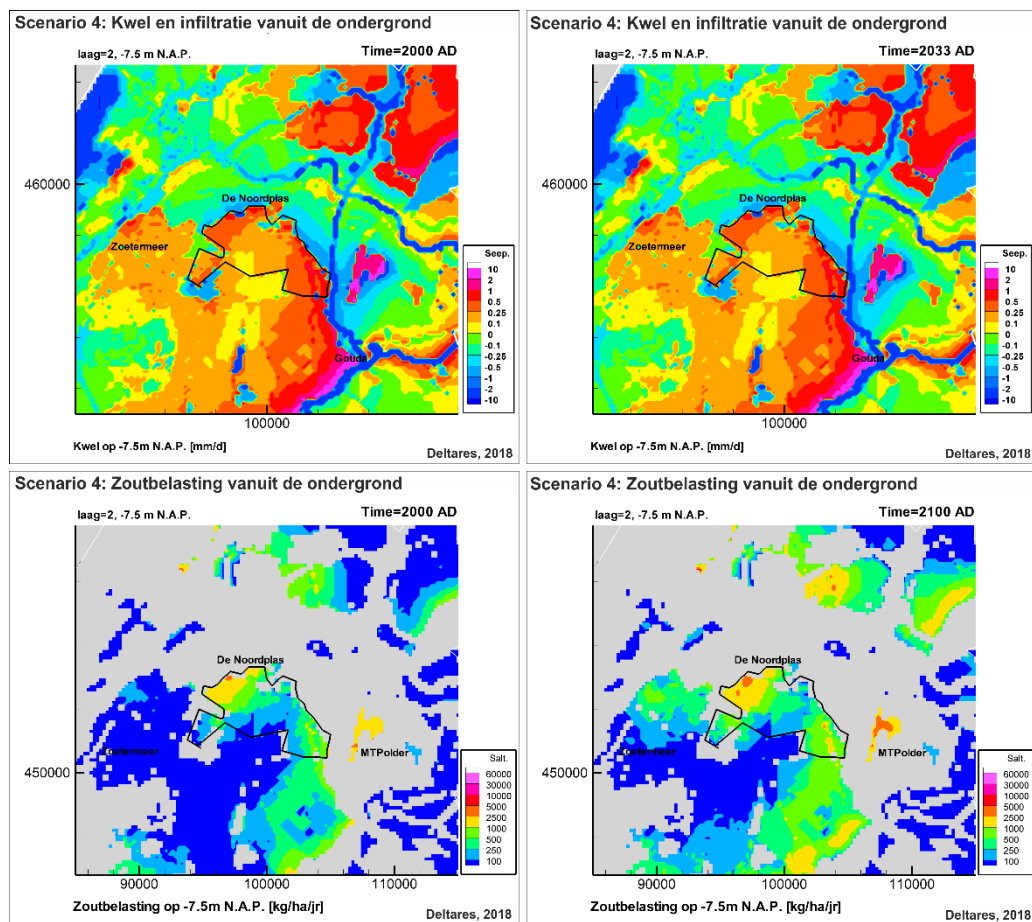
De resultaten voor scenario 3 (8 Mm³/jaar uit 2^{de} WVP) zijn weergegeven in Figuur 4-21 (kwel/infiltratie en zoutvracht). Dit scenario 3 lijkt op scenario 1, maar de brakwateronttrekking vindt dieper plaats. Hierdoor neemt de zoutvracht iets minder af. Het kwel/infiltratie-patroon verandert net als de scenario's 1 en 2 ook hier weinig.



FIGUUR 4-21. EFFECT VAN BRAKWATERWINNING, SCENARIO 3: VERANDERING KWEL/INFILTRATIE (BOVEN) EN ZOUTVRACHT (ONDER) IN DE HUIDIGE SITUATIE (LINKS) EN OVER DE KOMENDE 100 JAAR (RECHTS).

Scenario 4

De resultaten voor scenario 4 ($8 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ uit 2^{de} WVP plus $4 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$ in 3^{de} WVP) zijn weergegeven in Figuur 4-22 (kwel/infiltratie en zoutvracht). Dit scenario 4 lijkt op scenario 2, maar zowel de brakwateronttrekking als de brijninjectie vindt dieper plaats. De afname van de zoutvracht is diensgevolg minder. Het kwel/infiltratie-patroon verandert net als in de vorige scenario's 1, 2 en 3 weinig.

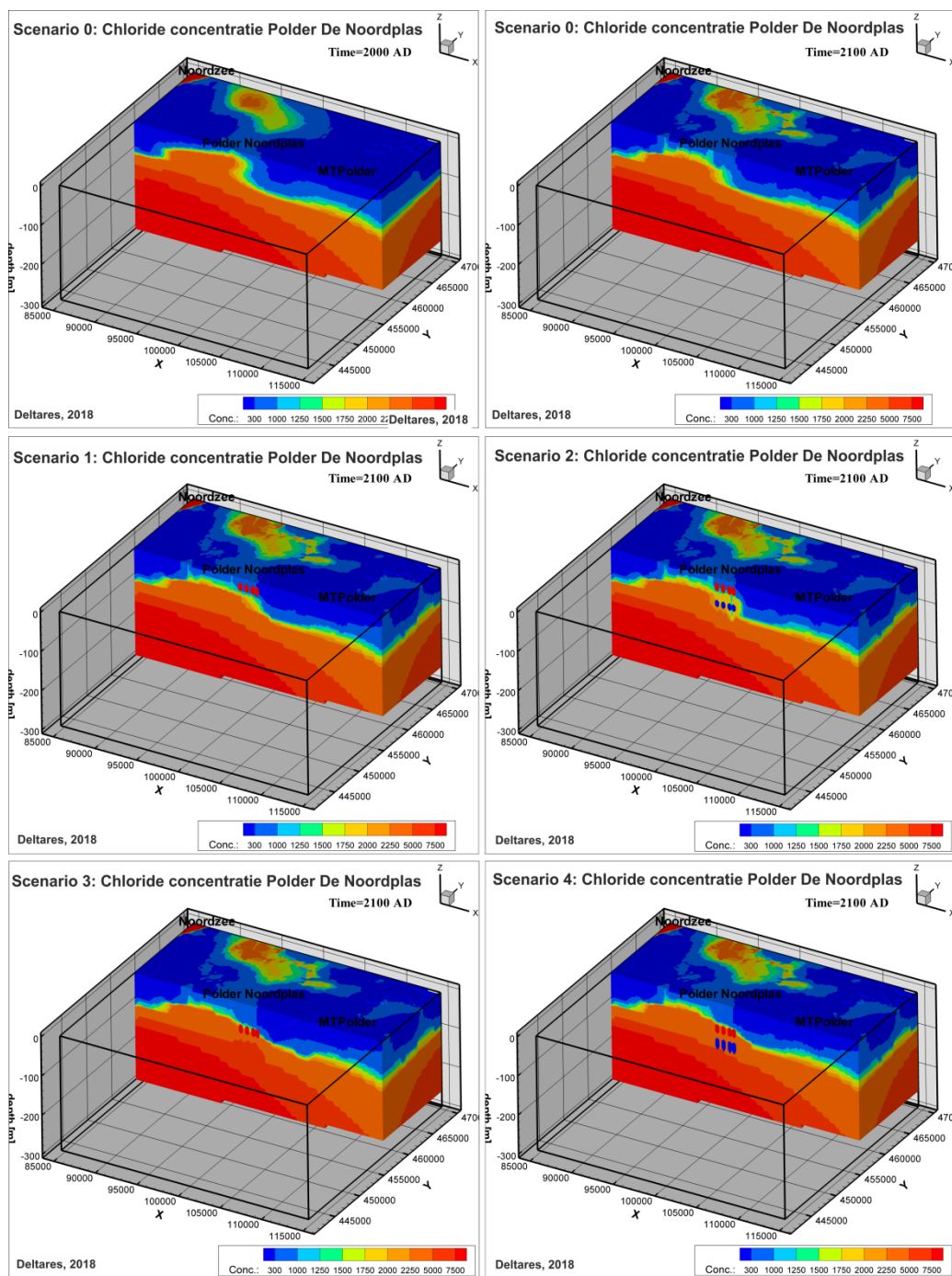


FIGUUR 4-22. EFFECT VAN BRAKWATERWINNING, SCENARIO 4: VERANDERING KWEL/INFILTRATIE (BOVEN) EN ZOUTVRACHT (ONDER) IN DE HUIDIGE SITUATIE (LINKS) EN OVER DE KOMENDE 100 JAAR (RECHTS).

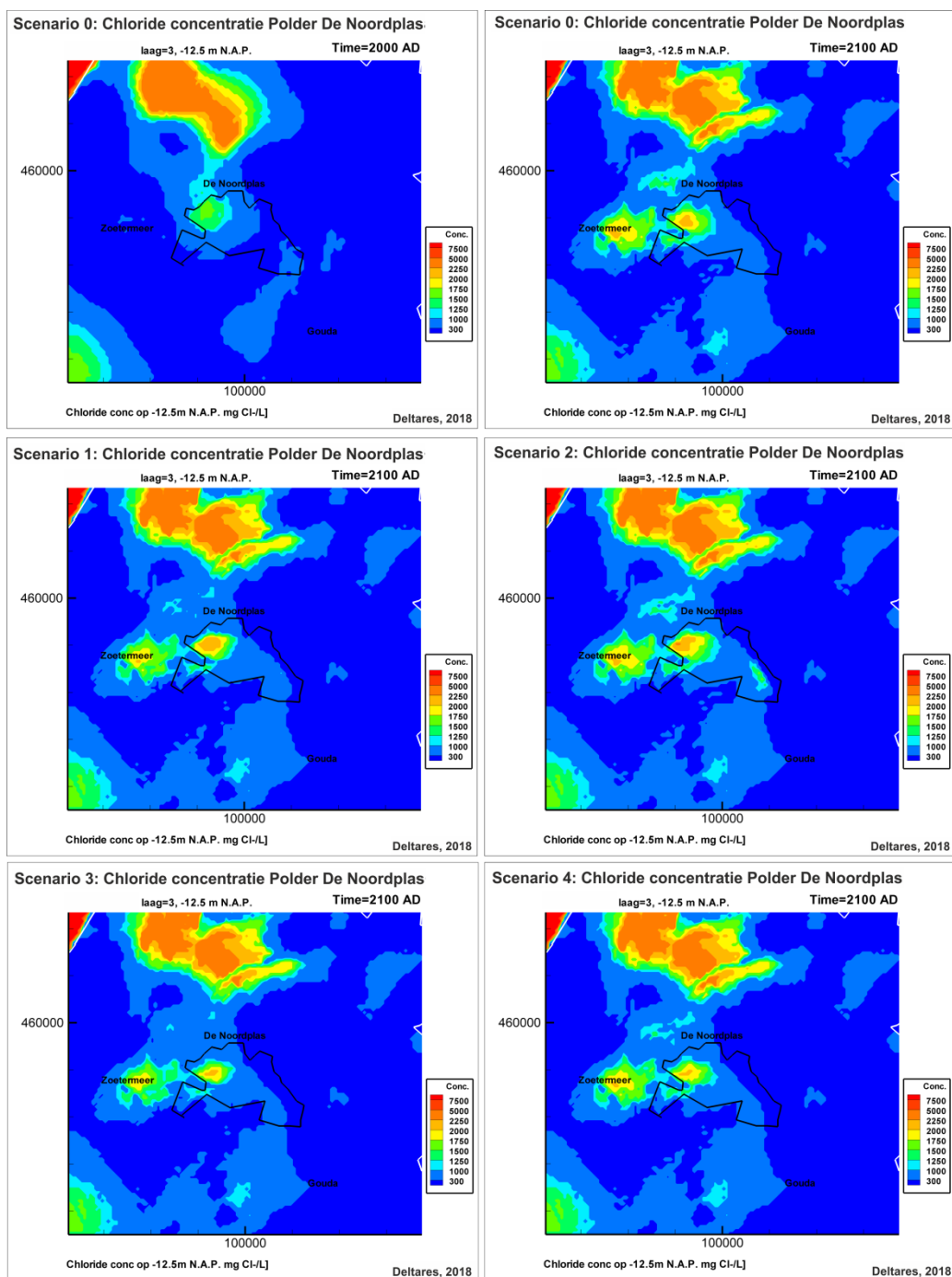
Onderlinge vergelijking van de scenario's

Hieronder worden de verschillende scenario's kort beschreven. De vergelijking wordt met name gedaan met de referentiesituatie (scenario 0), voor de jaren 2000 en 2100. In Figuur 4-23 worden de 3D zoet-zoetverdelingen van de ondergrond voor de verschillende scenario's vergeleken. Het effect van de verschillende scenario's met verschillende winnings- en onttrekkingsregimes is te zien. Zo trekken de ondiepe winscenario's 1 en 2 brak grondwater uit de diepte aan en verzoeten de diepe winscenario's 3 en 4 het ondiepe eerste watervoerend pakket. Scenario 3 lijkt de grootste zoete grondwatervoorraad te vormen.

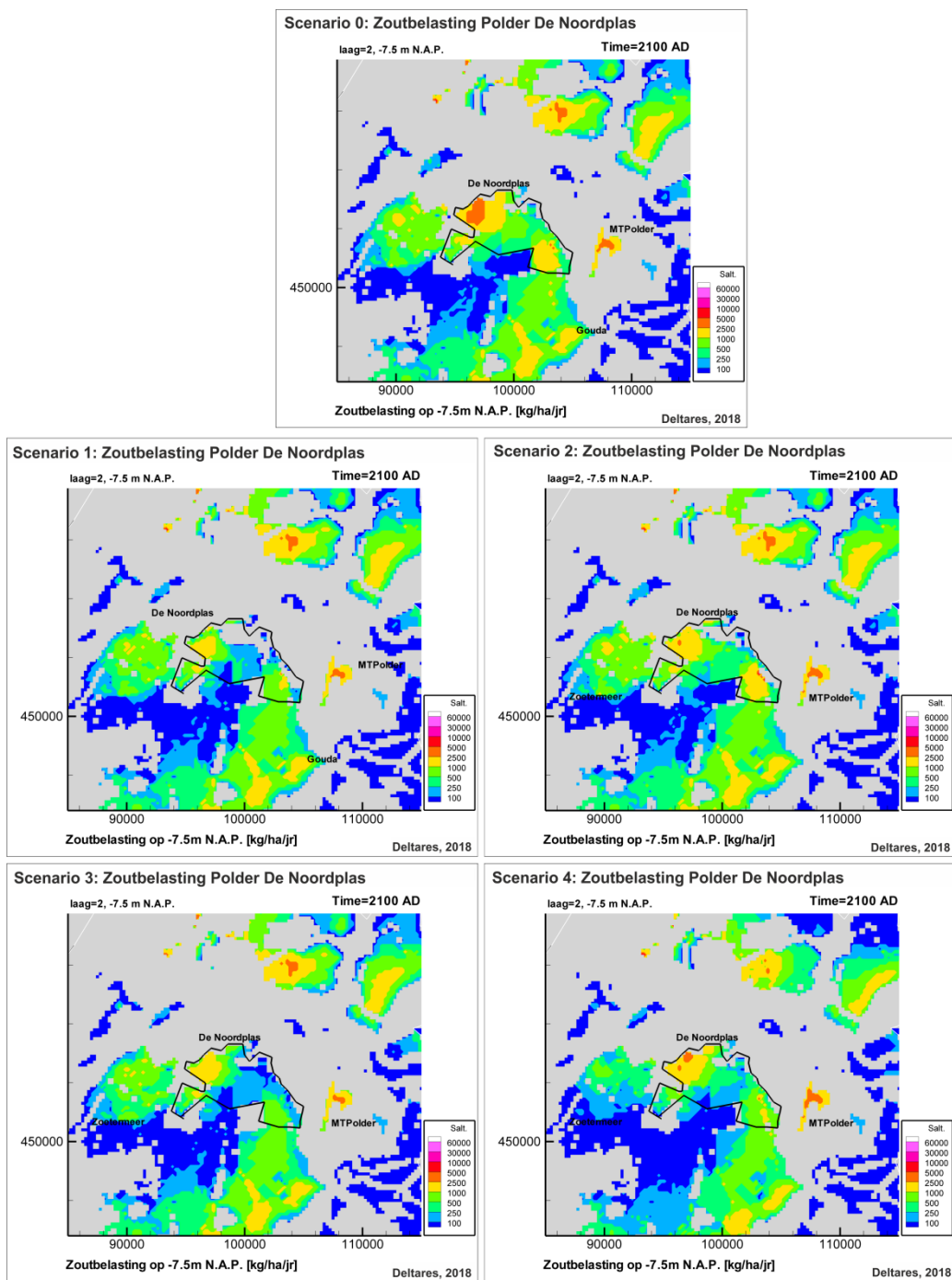
In Figuur 4-24 wordt één modellaag (-12.5m NAP) in Figuur 4-23 in meer detail weergegeven. Ten opzichte van scenario 0 (Referentiesituatie in 2100, Figuur 4-24 rechts bovenin) zijn de onderlinge verschillen qua chlorideconcentratie tussen de scenario's 1, 2, 3 en 4 niet bijzonder groot, hoewel scenario 3 de laagste chlorideconcentratie lijkt te realiseren. Het verschil met scenario 0 (Referentiesituatie in 2000, Figuur 4-24 links bovenin) is wel groot. Voor alle scenario's 1, 2, 3 en 4 is na 100 jaar de zoutvracht (Figuur 4-25) flink lager t.o.v. scenario 0 (Referentiesituatie in 2100, zie Figuur 4-25 bovenaan). Dit komt met name doordat de kwel flink afneemt.



FIGUUR 4-23. EFFECT VAN VERSCHILLENDE SCENARIO'S OP DE ZOET-ZOUT VERDELING IN DE ONDERGROND, NAAST DE ONTWIKKELING VAN DE REFERENTIE SITUATIE (EERSTE RIJ: HUIDIG LINKS EN OVER 100 JAAR RECHTS): LOCATIES WINPUTTEN TE HERKENNEN AAN RODE (ONTTREKKING) EN BLAUWE (INFILTRATIE) PUNTEN.

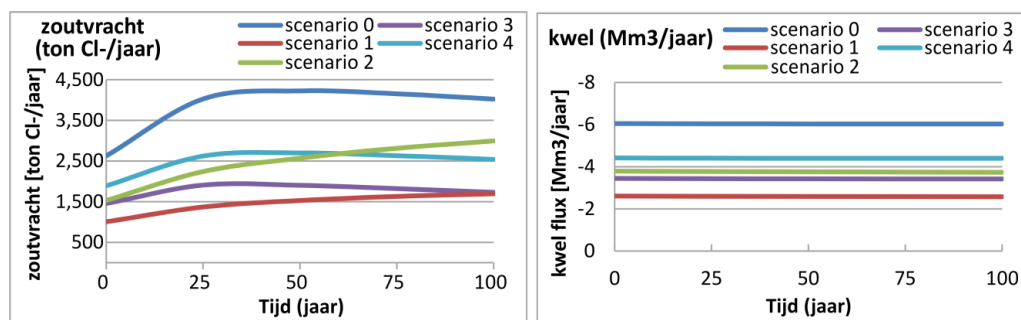


FIGUUR 4-24. EFFECT VAN VERSCHILLENDE SCENARIO'S OP DE ZOET-ZOUT VERDELING IN DE ONDERGROND, NAAST ONTWIKKELING VAN DE REFERENTIE SITUATIE (HUIDIG EN OVER 100 JAAR): BOVENAANZICHT CHLORIDE CONCENTRATIE OP -12.5M NAP.



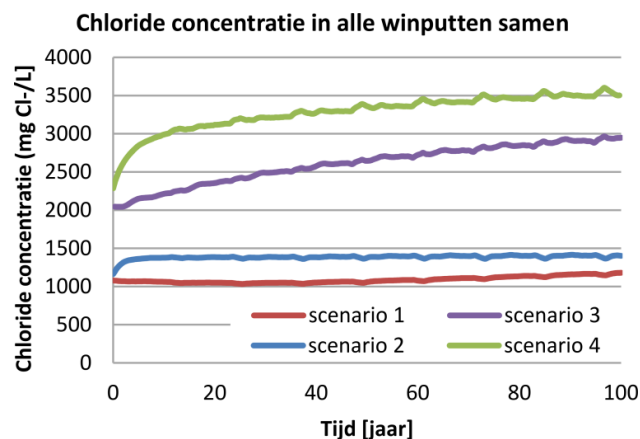
FIGUUR 4-25. EFFECT VAN DE BRAKWATERWINNING OP DE ZOUTVRAAG (BOVEN: SCENARIO 1 (LINKS) EN SCENARIO 2 (RECHTS) EN ONDER: SCENARIO 3 (LINKS) EN SCENARIO 4 (RECHTS)).

Figuur 4-26 laat zien dat in alle scenario's zowel de zoutvracht als de kwel (significant) afneemt ten opzichte van de referentie situatie (scenario 0 autonome ontwikkeling). Diepere systemen leiden tot een kleinere afname in de kwel (rechter deel Figuur 4-26: 1 versus 3 en 2 versus 4). Alleen ondiep onttrekken (scenario 1) veroorzaakt de grootste afname van de zoutvracht en de kwel. De combinatie van ondiep onttrekken en ondiep infiltreren (scenario 2) levert op termijn een steeds grotere zoutvracht; het zoutere grondwater stroomt uiteindelijk toch weer naar de onderkant van de deklaag. Op termijn zal ook dieper onttrekken (scenario 3) een gunstig effect hebben op de afname van de zoutvracht; klaarblijkelijk wordt de afvoer van diep zout water aangevuld door zoet water, zodanig dat deze sub-regionale verzoeting van het eerste watervoerende pakket op termijn de zoutvracht doet afnemen. Kijkend naar de zoutvrachtgradiënt als functie van de tijd blijkt dat op nog langere termijn (>100jaar) scenario 3 zelfs het meest optimale scenario lijkt wat afname van de zoutvracht betreft, meer dan scenario 1.

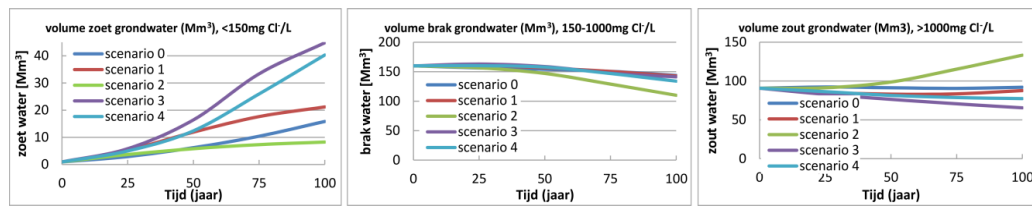


FIGUUR 4-26. ONTWIKKELING IN ZOUTVRACHT EN KWEL PER SCENARIO GEDURENDE DE KOMENDE 100 JAAR.

Het plaatsen van winputten op grotere dieptes heeft direct zijn weerslag op de chlorideconcentratie van het te winnen grondwater (Figuur 4-27): ondiep (scenario 1 en 2) zal de concentratie rondom 1000-1500 mg Cl/L blijven, bij scenario 3 en 4 met diepere winputten start de concentratie rondom 2000-2200 mg Cl/L en neemt de concentratie gedurende de komende eeuw verder toe naar ongeveer 3000-3500 mg Cl/L. De scenario's met diepere onttrekking (scenario's 3 en 4) geven als resultaat dat het eerste watervoerend pakket op termijn flink zoeter wordt (Figuur 4-28, links).



FIGUUR 4-27. ZOUTCONCENTRATIE OVER DE KOMENDE 100 JAAR IN ALLE WINPUTTEN VOOR SCENARIO 1, 2, 3 EN 4 OP DEZELFDE RUIMTELIJKE LOCATIES (MET ALS VERSCHIL DAT DE WINPUTTEN VAN SCENARIO 3 EN 4 DIEPER LIGGEN).



FIGUUR 4-28. VERANDERINGEN IN DE VOLUMES ZOET (LINKS), BRAK (MIDDEN) EN ZOUT (RECHTS) ONDER DE POLDER DE NOORDPLAS, PER SCENARIO OVER DE KOMENDE 100 JAAR.

Resumerend: in alle scenario's vindt een autonoom verziltingsproces plaats. Het effect van (brak) grondwater onttrekken onder de Polder de Noordplas heeft tot gevolg dat de stijghoogte in het 1^{ste} WVP minimaal vele decimeters wordt verlaagd t.o.v. de referentiesituatie, soms in de orde van ongeveer 1.5m. Hierdoor neemt de kwel in de af Polder de Noordplas, en tevens ook de zoutvracht. Over 100 jaar lopen de chlorideconcentraties in winputten in het eerste watervoerende pakket langzaam op. In het tweede watervoerende pakket zou in de eerste jaren een sterke stijging van ca. 2000 naar ca. 3000 – 3500 mg/l Cl plaatsvinden, maar zou daarna toename in Cl-concentratie zeer geleidelijk verlopen.

4.5.3 CONCLUSIES

Op basis van de in de voorgaande sectie beschreven resultaten kunnen de onderzoeksvragen uit sectie 4.4.3 beantwoord worden.

1. Hoe groot is de afname van de zoutvracht in de Polder de Noordplas (en omliggende polders)?

(Figuur 4-25 en Figuur 4-26, links)

Door de brakwaterwinningen nemen de zoutvrachten af. De zoutvracht onder scenario 1 neemt het meest af, met ongeveer 60% af in 2000 t.o.v. de huidige waarde van de referentiesituatie. In scenario 3 is dat ongeveer 40% t.o.v. de huidige waarde van de referentiesituatie. Onder de scenario's 2 en 4, waar ook brakwater wordt geïnjecteerd op grotere dieptes, is de afname ook minder, ongeveer 25-45% t.o.v. de huidige waarde van de referentiesituatie. Het effect van de diepte van de winputten van belang. Door menging van het geïnjecteerde brakkere water neemt onder scenario 2 op de lange termijn de zoutvracht weer toe. In scenario 1 neemt de kwel ~55% af t.o.v. de huidige waarde van de referentiesituatie en wordt de infiltratie ongeveer drie keer zo groot. Onder scenario 3, waarbij de onttrekkingen en infiltraties flink dieper liggen, neemt de kwel (~40%) iets minder af t.o.v. de huidige waarde van de referentiesituatie terwijl de zoutvracht iets minder dan halveert. Op termijn blijft in scenario 3 de zoutvracht stabiel laag en neemt zelfs iets af.

2. In hoeverre wordt de stijghoogte verlaagd?

(Figuur 4-18 en Figuur 4-20)

De grootte van de stijghoogteverlaging hangt af van de diepte van de winputten in het grondwatersysteem. In scenario 1 is de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket ongeveer 1.10m lager (deze waarde is gemiddeld over de locaties van de winputten). Bij scenario 2 is dat minder (~0.40m), terwijl bij scenario 3 en 4 de stijghoogteverlaging in het tweede watervoerend pakket ongeveer 1.60 en 0.85m is respectievelijk. De orde van grootte van stijghoogteverlaging is voldoende om de zoutvracht vanuit (zoute) wellen significant te verminderen.

3. In welke mate verandert de zoet-zout verdeling?

(Figuur 4-23, Figuur 4-24 en Figuur 4-28)

In de ondiepe winscenario's 1 en 2 met alleen ondiepe winning neemt het volume zoet grondwater (< 150 mg Cl⁻/L) slechts weinig toe. Bij de diepe winscenario's 3 en 4 nemen over 100 jaar de volumes zoet grondwater is de toename daarentegen substantieel (bijna 30 Mm³).

4. *Wat is de concentratie van het onttrokken (brakke) grondwater als functie van de tijd?*

(Figuur 4-27)

Voor het ondiepe scenario 1 neemt de zoutconcentratie van het onttrokken water in alle winputten samen nauwelijks toe en blijft deze gelijk (<1200 mg Cl/L). Voor het diepe scenario 2 is de zoutconcentratie sowieso flink hoger (toenemend van 2000 naar 3000 mg/l Cl). Door de scenario's 3 en 4 neemt de mate van toename in de tijd af en lijkt de chloride concentratie zich net iets over 3000-3500 mg Cl/L te stabiliseren. De toestroming van zoet grondwater van boven en zout grondwater vanaf onderen is dan ongeveer in balans.

4.5.4 VRAGEN TE BEANTWOORDEN IN VERVOLGONDERZOEK (BUITEN DIT TKI PROJECT)

1. Hoeveel putten en ligging (welke dichtheid van putten is vereist)? Dit betreft een optimalisatie.
2. HDDW of verticaal? Vergelijken qua effectiviteit en kosten (inclusief infrastructuur)
3. Wat zijn de werkelijke concentraties ammonium in het te winnen water? Hoeveel zou het de Reverse Osmose passeren en is dat dan laag genoeg voor omzetting naar NO₃ binnen drinkwaternorm?
4. Hoe het concentraat af te voeren?
 - a. Lokaal ontzilten en concentraat naar ondergrond
 - b. Brakwater naar kust en daar ontzilten, concentraat naar zee
 - c. Concentraat via aparte leiding naar zee
5. Wat zijn de economische benefits?
 - a. Opbrengst voor Dunea wat betreft drinkwater
 - b. Opbrengst voor het Hoogheemraadschap van Rijnland. Eurekaopener (Stuyt et al., 2013)? Welke kosten maakt het Hoogheemraadschap van Rijnland? Bij welke afname in chloride concentratie is het Hoogheemraadschap tevreden? Bij <250 mg Cl⁻/L?

4.5.5 VERDER HYDROGEOLOGISCH ONDERZOEK

Afgeleide vragen, die in verder onderzoek aan bod zouden kunnen komen, zijn:

1. Wat is de relatie tussen debiet en bereikte verlaging van de stijghoogte?
2. Hoeveel kwelvermindering levert dat op in de Polder de Noordplas (en omliggende polders)?
3. Wat zijn de effecten op omgeving in termen van stijghoogte, kwel en zoutvracht? (ook buiten polder)
4. Als het concentraat in de ondergrond wordt teruggebracht, wat voor effect heeft dat op de grondwaterkwaliteit en hydrologie in de omgeving? En op het toestromende grondwater op de lange termijn?
5. Is infiltratie van slootwater van lage kwaliteit een risico?

Om bovengenoemde vragen nauwkeuriger te beantwoorden is een verbetering van het huidige modelinstrumentarium aanbevolen. Het betreft de volgende onderdelen:

- het verfijnen van de modeldiscretisatie (de huidige schaal is te grof om zoute wellen en kleine zandbanen goed mee te nemen)
- toevoegen van meer detail in de lithologie m.b.v. GeoTOP
- toevoegen van de nieuwste zoet-zout verdeling (Oude Essink & Forzoni, 2017). Extra saliniteitsmetingen in de regio van de Polder de Noordplas zijn nuttig, gegeven de huidige matige meetdichtheid op diepte
- optimaliseren van de locaties en (al dan niet) gedifferentieerde debieten van de onttrekking- en infiltratiewinputten

5 Verkenning mogelijkheden en opties voorlopig ontwerp brakwaterwinning

5.1 INLEIDING

De (ondergrondse) effecten van brakwaterwinning op de locaties Solleveld en Polder de Noordplas zijn doorgerekend in Hoofdstukken 3 en 4. In dit hoofdstuk worden mogelijkheden verkend wat betreft het ontwerp van het puttenveld, zuivering en infrastructuur, die uitmonden in verschillende opties voor voorlopig ontwerp. Daarbij wordt uitgegaan van het volgende:

1. Brakwater wordt onttrokken voordat het nabij maaiveld / het watersysteem tot problemen leidt. Er wordt zoveel onttrokken dat verzilting aan maaiveld wordt gereduceerd, zonder verzilting in de ondergrond te versterken.
2. Het brakwater (vrij van deeltjes, bij juiste bronontwerp) eventueel incl. antropogene verontreinigingen (aanneمة op basis van oorsprong van het brakwater) wordt via RO tot (vrijwel) demi-water gemaakt.
3. Dit demiwater wordt ofwel opgehard en geleverd aan het drinkwaternet (van Dunea) ofwel zonder opharding getransporteerd naar (i) de BAL-leiding of (ii) PS Katwijk (winning Noordplas) ten behoeve van duinwaterinfiltratie of (iii) PS Monster (winning Solleveld) om te mengen met het onttrokken duinwater (=ontharding).
4. Concentraat wordt afgevoerd naar bodem of zee.

Uit de verkende mogelijkheden in dit hoofdstuk worden scenario's geformuleerd voor beide locaties, die uitgangspunt vormen voor de kostenraming in Hoofdstuk 6.

5.2 SOLLEVELD: AANNAMES

Bij Solleveld vindt oppervlakte-infiltratie van voorgezuiverd rivierwater plaats. Terugwinning vindt plaats via ondiepe omliggende onttrekkingsputten. Totaal gaat het hier om een winning van 8 Mm³/j. Zoals meerdere van dit soort winningen langs de kust, is er risico op verzilting door aanwezigheid van (zeer) zout grondwater op relatief geringe diepte.

In Hoofdstuk 3 is beschreven hoe een brakwaterwinning in het brakke domein onder Solleveld verzilting van het puttenveld kan voorkomen (verhogen robuustheid) en kan leiden tot de opbouw van een strategische reserve (Freshkeeper). Het brakwater kan gebruikt worden voor omzetting naar drinkwater via RO. Het gebruik maken van de strategisch reserve is (economisch) nog niet beschouwd.

5.2.1 TE ONTTREKKEN WATERKWALITEIT (=VOEDING RO) SOLLEVELD

In de database van het DINOloket staat een beperkt aantal grondwateranalyses omschreven in de omgeving van Solleveld. Boring D30D0092 is gebruikt om tot onderstaande samenstelling te komen (Tabel 5-1), omdat de Cl-concentratie hiervan het meest in lijn is met de gemodelleerde Cl-concentratie van de onttrekking (ca. 6-7 g/l).

TABEL 5-1. GRONDWATERKWALITEIT IN EERSTE WATERVOERENDE PAKKET (OP BASIS METINGEN GRONDWATERSAMENSTELLING ZOALS VERMELD IN DINOLOKET)

	1 ^e watervoerende pakket Solleveld	Eis drinkwater (max)
EC (uS/cm)	12882	1250
pH (-)	7.1	7-9.5
Temp (°C)	11	25
DO	0	>2
Cl	5435	150
Na	3219	150
Ca	283	
Mg	194	
K	niet gemeten	
NH ₄	11.0	0.2
NO ₃	0	50
HCO ₃	543	>60
SO ₄	179	150
Total-PO ₄	0.12	
Fe-totaal	13.9	0.2
Mn	1.6	0.05

5.2.2 DEBIETEN

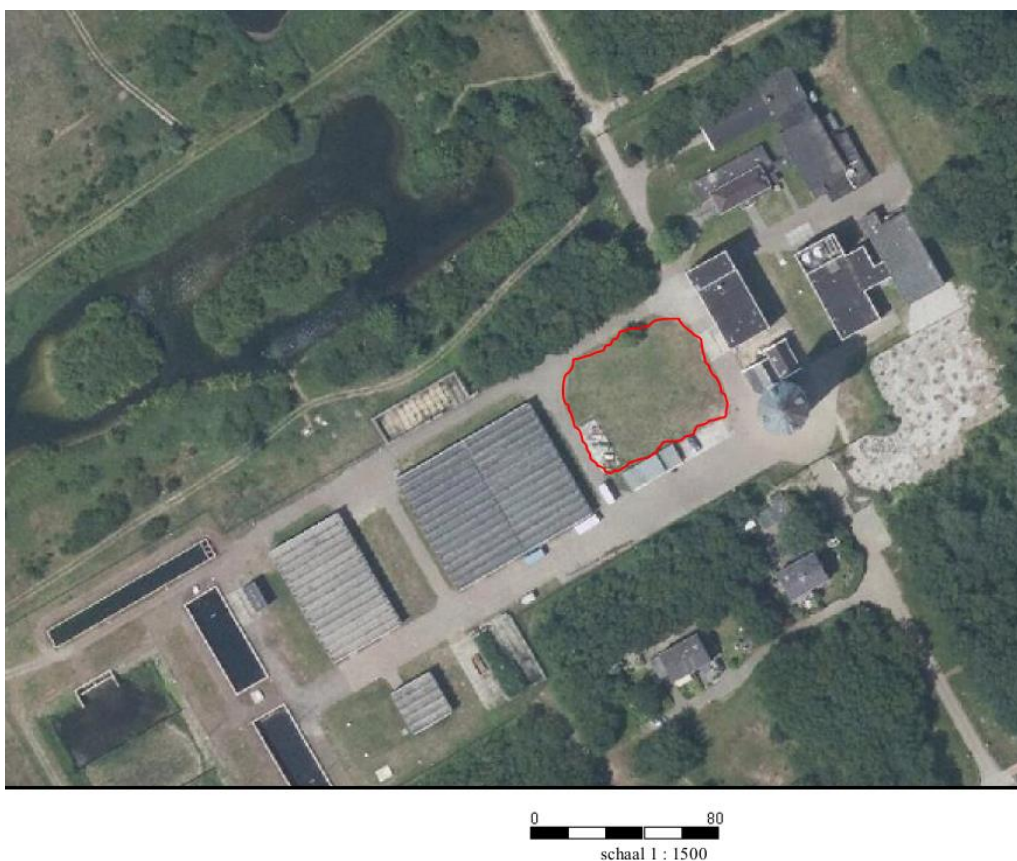
In de modelberekeningen (Hoofdstuk 3) is uitgegaan van de onttrekking van 4 Mm³/jaar brakwater rondom Solleveld. Met het oog op de inzet bij deelontharding is dat in dit deel van de verkenning verhoogd naar ruim 5 Mm³/jaar (Tabel 5-2). Voor de dimensionering van de zuivering wordt 650 m³/h aangenomen, zodat ook enige evt. downtime en reiniging van de membranen opgevangen kan worden.

TABEL 5-2. DEBIETEN ONTTREKKING BRAKWATER, PRODUCTIE PERMEAAT EN TE LOZEN CONCENTRAAT UITGAANDE VAN EEN RECOVERY EFFICIENCY VAN 50%.

Debiet onttrekking	Debiet permeaat	Debiet concentraat	Eenheid
5,333,333	2,666,667	2,666,667	m ³ /jaar
14,612	7,306	7,306	m ³ /d
609	304	304	m ³ /u
650	325	325	m ³ /u (ontwerp)

5.2.3 AANWEZIGHEID BESTAANDE INFRA

Het teruggewonnen duinwater ondergaat een nazuivering (poederkooldosering, beluchting, snelfiltratie, langzame zandfiltratie, ontharding). Tien jaar terug is PS Monster opnieuw in bedrijf genomen, na uitbreiding van 5 tot 8 Mm³/jr. Er is bij de renovatie en nieuwbouw geen rekening gehouden met uitbreiding van de capaciteit. Gewenste capaciteitsuitbreiding zal dus gering zijn of onmogelijk met de bestaande installaties. Er moet derhalve rekening worden gehouden met uitbreiding van de zuivering (inclusief gebouwen). Deze ruimte zou gezocht kunnen worden naast langzaam zandfilter 4 (circa 37 m x 42 m, Figuur 5-1).



FIGUUR 5-1. LUCHTFOTO VAN PS MONSTER MET INGETEKEND DE BESCHIKBARE RUIMTE OP HET TERREIN.

5.2.4 SCENARIO'S ZUIVERING EN AFZET PERMEAAT EN AFVOER CONCENTRAAT

De volgende opties worden gezien met betrekking tot afzet van het permeaat:

Optie A: Mengen met gewonnen duinwater, gebruik in deelontharding

Voor deze bestemming is RO voldoende. Het permeaat ondergaat, na opmenging met het duinwater in de juiste verhouding, de gebruikelijke nazuivering (poederkooldosering, beluchting, snelfiltratie, langzame zandfiltratie). Het is zaak de juiste mengverhouding te hanteren om tot de gewenste ontharding te komen: 1 deel permeaat op 3 delen duinwater, dus ontharding van ca. 2 mmol/l naar 1.5 mmol/l. Hiervoor is het permeaat debiet (2,67 miljoen m³/jaar) reeds afgestemd op de huidige onttrekking (8 miljoen m³/jaar). Verder investeringen in deelontharding zijn dan niet vereist. [De kosten voor het bereiden van het extra drinkwater zijn geraamd, niet de kosten voor transport]

Het concentraat kan op twee manieren worden afgevoerd:

Optie 1: Naar zee

Hiervoor dient een geheel nieuwe leiding te worden aangelegd tot in zee (ruim voorbij strand). Capaciteit moet 325 m³/u zijn.

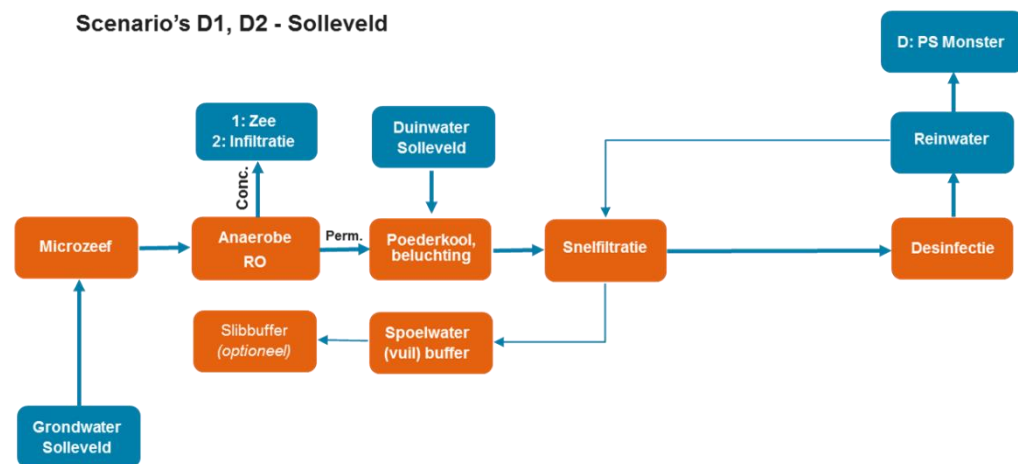
Optie 2: Lozing in de diepere ondergrond (WVP3)

Zie hoofdstuk 2.

Deze opties resulteren in twee scenario's (Tabel 5-3, Figuur 5-2) die verder verkend worden.

TABEL 5-3. SCENARIO'S SOLLEVELD

Scenario	Permeaat	Concentraat	Aandacht
D1	Mengen tbv deelontharding	Naar zee (nieuwe leiding)	Verhouding t.b.v. deelontharding
D2	Mengen tbv deelontharding	Lozen in derde watervoerende pakket	Verhouding t.b.v. deelontharding



FIGUUR 5-2. SCENARIO'S D1, D2 – BRAKWATERWINNING SOLLEVELD. VOOR DE NAZUIVERING WORDT HET ONTZILTE BRAKWATER GEMENGD MET DUINWATER.

5.3 NOORDPLASPOLDER: AANNAMES

Het idee in Polder de Noordplas is om in de noordelijke randzone een grondwaterwinning aan te leggen in het eerste watervoerende pakket (ca. 10 – 40 m diep). Hier wordt beoogd om ca. 8 Mm³/jaar af te vangen om de brakke kwel richting oppervlaktewater te verminderen en een zuiveringssysteem (principe: RO) te voeden met brakwater.

5.3.1 WATERKWALITEIT

Het te onttrekken water is typisch brak, diep anoxisch en rijk aan ijzer en ammonium (Tabel 5-4). Methaan, DOC en kleur zijn niet gerapporteerd. Deze stoffen zouden gevolgen kunnen hebben voor de eisen aan de zuivering. De verwachting op basis van de modelberekeningen (Hoofdstuk 4.5) is dat de waterkwaliteit in ieder geval in de eerste 100 jaar relatief constant blijft.

TABEL 5-4. GRONDWATERKWALITEIT OPKWELLEND WATER IN EERSTE WATERVOERENDE PAKKET (OP BASIS VAN METINGEN VAN OPKWELLEND BRAKWATER TER PLAATSE VAN ZANDIGE GEULEN IN POLDER DE NOORDPLAS (N=3, FREQUENTIE = 2)), GEMETEN DOOR DE LOUW ET AL. (BIJLAGE I). CONCENTRATIES ZIJN IN MG/L, TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN.

	1 ^e watervoerende pakket Noordplas (De Louw et al.)	1 ^e watervoerende pakket Noordplas (aanneame)	Eis drinkwater (max)
EC (uS/cm)	4700		1250
pH (-)	6.5		7-9.5
Temp (°C)	11		25
DO	0		>2
Cl	1245		150
Na	718		150
Ca	236		
Mg	77		
K	19		
NH ₄ *	18.7		0.2
NO ₃	0		50
HCO ₃	1050		>60
SO ₄	8		150
Ortho-P	0**	3.3	
Total-P	0.4**		
Fe-totaal	12.8		0.2
Mn	niet gemeten		0.05

*Afgaande op de onderliggende rapporten en de wijze van rapporteren gaat het hier om NH₄ en niet NH₄-N

** De gerapporteerde concentraties P zijn opvallend laag voor dit watertype. Aannemelijker is een ortho-PO₄ concentratie van ca. 5 tot 10 mg/l (Ortho-P: 1.6 tot 3.3 mg/l), op basis van metingen in hetzelfde watervoerende pakket in de omgeving.

5.3.2 DEBIETEN

Er wordt vooralsnog uitgegaan van een continue winning van het brakwater (het hele jaar door). Fluctuaties in de dagelijkse vraag en seizoenfluctuaties worden opgevangen door koppeling aan het drinkwaternet van Dunea (incl. de reinwaterkelders) (Tabel 5-5).

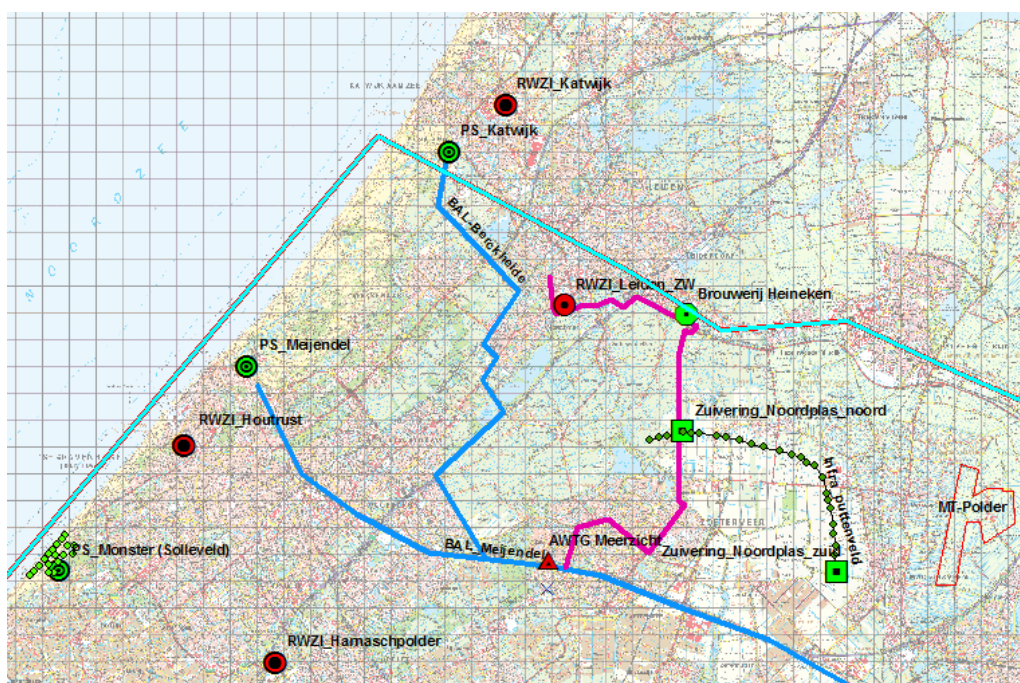
TABEL 5-5. DEBIETEN ONTTREKKING BRAKWATER, PRODUCTIE PERMEAAT EN TE LOZEN CONCENTRAAT

Debiet onttrekking	Debiet permeaat	Debiet concentraat	Eenheid
8,000,000	4,000,000	4,000,000	m ³ /jaar
21,918	10,959	10,959	m ³ /d
913	457	457	m ³ /u
1000	500	500	m ³ /u (ontwerp)

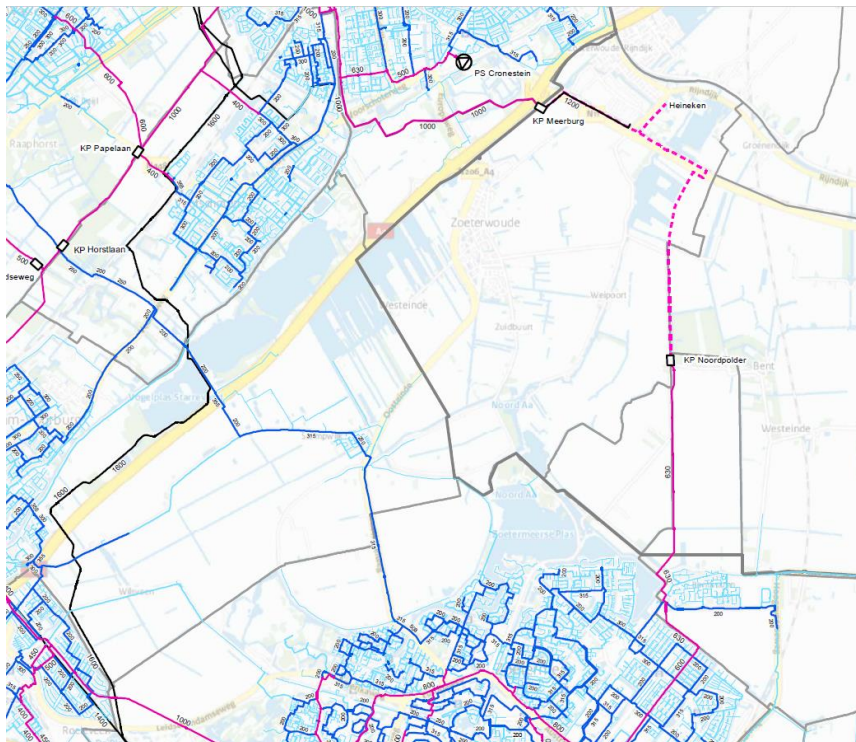
Voor de dimensionering van de zuivering wordt 1000 m³/h aangenomen, zodat ook enige evt. downtime / reiniging van membranen opgevangen kan worden.

5.3.3 BESTAANDE INFRA IN DE OMGEVING

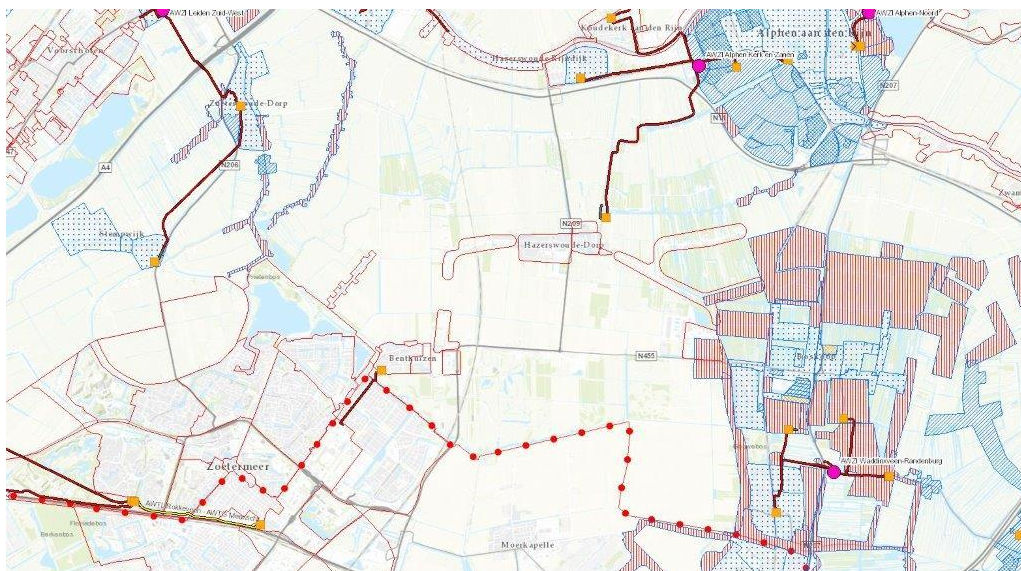
- Dunea kruist op twee punten de A4: met de BAL-leiding en bij koppelpunt Meerburg (Meerburgleiding en de Wijde-Aa-leiding) Het heeft grote voordelen om een bestaand tracé (Bal-2 of Wijde AA-leiding) te kiezen, gezien de ruimte daar beschikbaar voor ontgraven. Nadeel van deze optie: een nieuwe leiding is zeer kostbaar. Er moet nog worden uitgezocht of er plaats is in de huidige tracés (Figuur 5-3, Figuur 5-4).
- De Noordpolderleiding (reinwater) heeft een diameter van rond 630 mm en kan 500 m³/h aan. De reguliere stroom is van Noord naar Zuid waarbij PS Katwijk aan Heineken levert. Bij calamiteiten wordt geleverd van Zuid naar Noord waarbij PS Scheveningen aan Heineken levert. (Figuur 5-3, Figuur 5-4).
- Afvalwater in de omgeving van de Noordplas wordt verpompt richting Alphen aan de Rijn, Waddinxveen en Leiden Zuid-West. Via het riool van Zoetermeer wordt ook afgevoerd naar het persriool vanaf Meerzicht, welke aangesloten is op de RWZI Harnaschpolder en een capaciteit van 3.000 m³/u heeft (Figuur 5-5).



FIGUUR 5-3. LIGGING POMPSTATIONS, RWZI'S, RELEVANT LEIDINGWERK EN DE MOGELIJKE INRICHTING VAN DE WINNING NOORDPLAS. NB: BAL IS DUBBEL UITGEVOERD TOT SPLITSING MEIJNDEL/BERCKHEIDE



FIGUUR 5-4. LIGGING BELANGRIJKSTE INFRASTRUCTUUR RUWATER (ZWART) EN REINWATER (PAARS EN BLAUW)
DUNEA



FIGUUR 5-5. LIGGING BELANGRIJKSTE INFRASTRUCTUUR AFVALWATER RIJNLAND

5.3.1 SCENARIO'S ZUIVERING, AFZET PERMEAAT EN AFVOER CONCENTRAAT

Afzet permeaat

De volgende opties worden gezien met betrekking tot afzet permeaat:

Optie A: directe zuivering tot drinkwater

Zuivering: RO - beluchting – snelfiltratie (ammoniumverwijdering) - opharding - desinfectie

Aandachtspunt is de hoge ammoniumconcentratie; ammonium loopt deels door de RO heen. Dit betekent voor directe bestemming drinkwater een extra zuiveringsstap, zoals snelfilters of een andere biologische zuivering. Deze is opgenomen. Overige aandachtspunten zijn methaan (beluchting / striptoren vereist), kleur en DOC. Deze laatste twee parameters zijn nog niet nader beschouwd in deze fase.

Optie B: mengen met andere drinkwaterstroom, gebruik in deelontharding

Voor deze bestemming is RO voldoende (maar er is wel een transportleiding nodig naar PS Katwijk). Het permeaat ondergaat, na opmenging met het duinwater in de juiste verhouding (1:3), de gebruikelijke nazuivering (poederkooldosering, beluchting, snelfiltratie, langzame zandfiltratie). Een eventueel overschot aan ammonium zal hierbij worden omgezet in nitraat.

Wel is het zaak de juiste mengverhouding te hanteren om tot de gewenste ontharding te komen: 1 deel permeaat op 3 delen duinwater, dus ontharding van ca. 2 mmol/l naar 1.5 mmol/l. Met vier miljoen m³ permeaat kan dus 12 miljoen m³ duinwater worden onthard (op jaarbasis). De huidige productie van PS Katwijk (Berkheide) is 25 miljoen m³ per jaar, groeiend naar 32 miljoen m³ in het jaar 2025. Met het permeaat vanaf Polder de Noordplas kan dus onvoldoende ontharding worden bereikt

Optie C: leveren aan leiding voorgezuiverd rivierwater vanaf Bergambacht (BAL)

Optie A is aantrekkelijk qua transportafstand maar vraagt meer zuiveringstechnologie, bij optie B is het juist omgekeerd. Mogelijk kan levering van het permeaat aan de rivierleiding daarom gunstig zijn (beperkte zuivering, beperkt transport). Wel komen er aanvullend de kosten bij om tot drinkwater te komen (duininfiltratie en winning, nabehandeling). Hier is rekening mee gehouden bij de kostprijs berekeningen.

Verwerking concentraat

Het concentraat kan op twee manieren worden afgevoerd:

Optie 1: Naar zee

Hiervoor dient een geheel nieuwe leiding te worden aangelegd tot aan de kust. Capaciteit moet 500 m³/u zijn. Misschien kan er worden aangesloten op bestaande infra van Rijnland, maar waarschijnlijk is dit niet. We gaan dus uit van een geheel nieuwe leiding.

Optie 2: Lozing in de diepere ondergrond (WVP3)

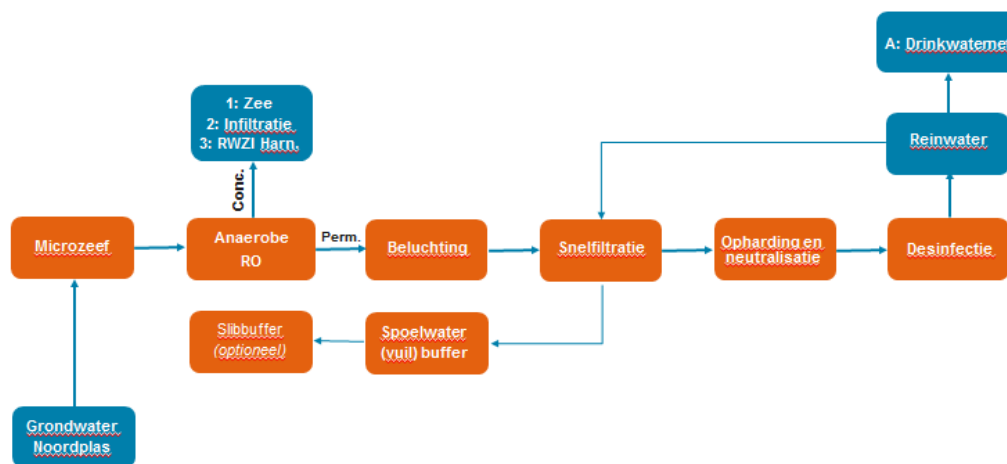
Zie hoofdstuk 2.

Optie 3: Afvoer naar RWZI Harnaschpolder via AWTG Meerzicht (3000 m³/u)

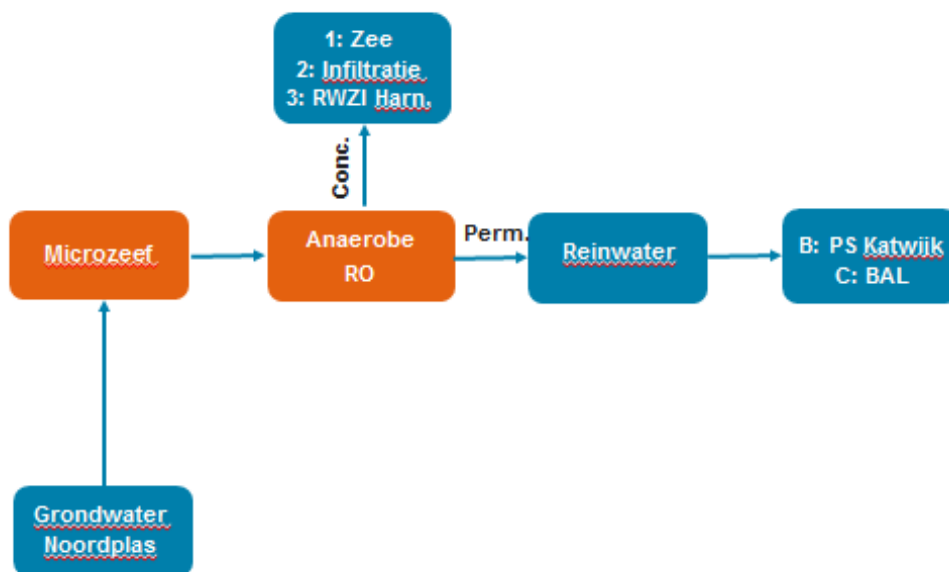
Bij elkaar komen we zodoende tot 7 scenario's (Tabel 5-6, Figuur 5-6, Figuur 5-7 en Figuur 5-8).

TABEL 5-6. SCENARIO'S NOORDPLASPOLDER.

Scenario	Permeaat	Concentraat	Aandacht
A1	Direct naar drinkwater en op het net	Naar zee (nieuwe leiding)	NH ₄ , remin.
A2	Direct naar drinkwater en op het net	Lozen in derde watervoerende pakket	NH ₄ , remin.
A3	Direct naar drinkwater en op het net	Naar RWZI Harnaspolder via Meerzicht Zoetermeer	NH ₄ , remin., afstemmen met Rijnland / Delfland
B1	Mengen tbv deelontharding (PS Katwijk)	Naar zee (nieuwe leiding)	Verhouding t.b.v. deelontharding
C1	Leveren aan BAL nabij Waddinxveen	Naar zee (nieuwe leiding)	
C2	Leveren aan BAL nabij Waddinxveen	Lozen in derde watervoerende pakket	
C3	Leveren aan BAL nabij Waddinxveen	Naar RWZI Harnaspolder via Meerzicht Zoetermeer	Afstemmen met Rijnland / Delfland



FIGUUR 5-6. SCENARIO'S A1, A2, A3 - NOORDPLAS



FIGUUR 5-7. SCENARIO'S B1, C1, C2, C3 – NOORDPLAS

5.4 SCENARIO'S

Tabel 5-7 geeft een overzicht van de scenario's voor brakwaterwinning. Voor deze scenario's worden in Hoofdstuk 6 de kosten geraamd.

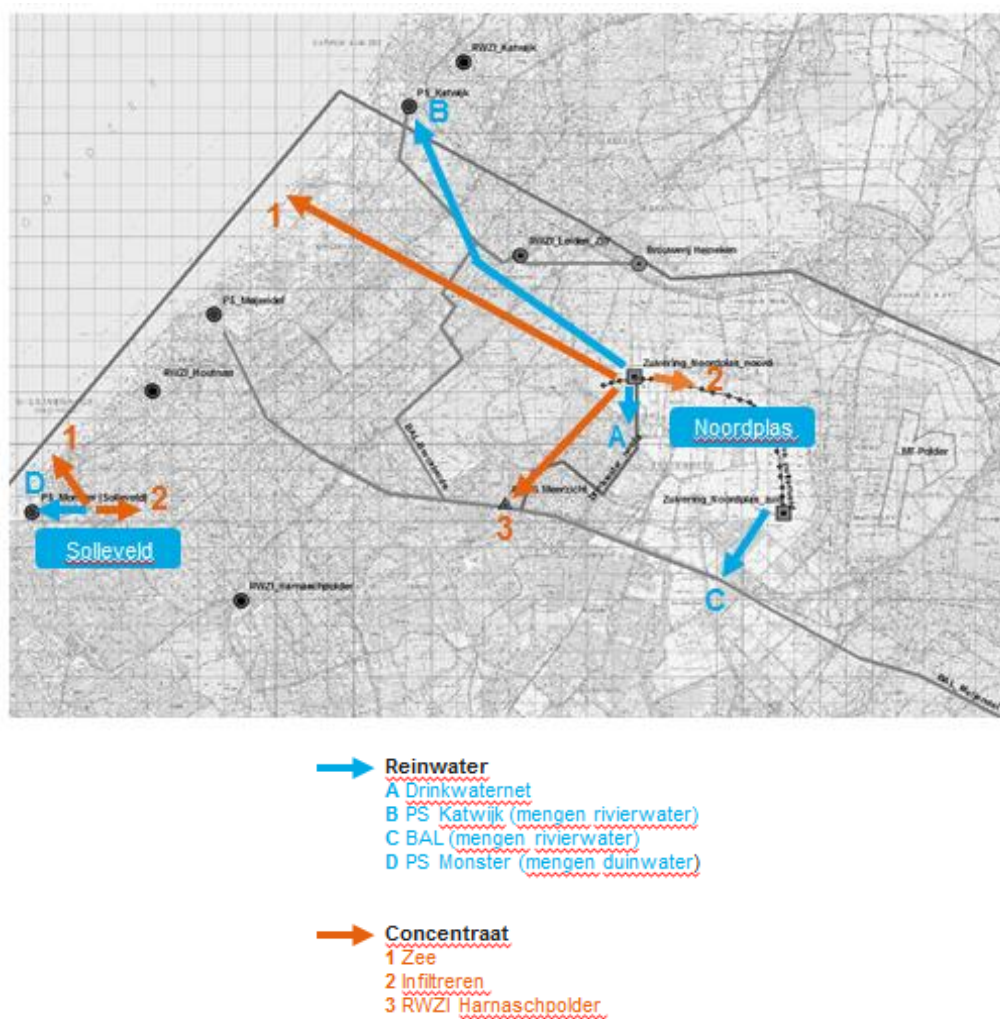
TABEL 5-7. OVERZICHT SCENARIO'S BRAKWATERWINNING

Locatie	Scenario	Bestemming reinwater	Bestemming concentraat
Noordplas	A1	Drinkwaternet	Zee
	A2	Drinkwaternet	Infiltreren (3 ^e watervoerende pakket)
	A3	Drinkwaternet	RWZI Harnaschpolder
	B1	PS Katwijk (mengen met opgepompt duinwater)	Zee
	C1	BAL nabij Waddinxveen (mengen met voorgezuiverd rivierwater)	Zee
	C2	BAL nabij Waddinxveen (mengen met voorgezuiverd rivierwater)	Infiltreren (3 ^e watervoerende pakket)
	C3	BAL nabij Waddinxveen (mengen met voorgezuiverd rivierwater)	RWZI Harnaschpolder
Solleveld	D1	PS Monster (mengen met opgepompt duinwater, ter plekke)	Zee
	D2	PS Monster (mengen met opgepompt duinwater, ter plekke)	Infiltreren

5.5 AANNAMES ZUIVERING

Wat betreft de zuivering van het gewonnen water is rekening gehouden met de volgende uitgangspunten:

- (Diep) anoxisch grondwater
- Fe concentratie wordt aangenomen als Fe^{2+}
- Fe en Mn concentraties leiden tot scaling van aerobe RO, daarom toepassing anaerobe RO om oxidatie van Fe en Mn te voorkomen
- Relatief hoge NH_4 concentraties, daarom extra zuiveringsstappen nodig in scenario's A1 t/m A3 (directe levering aan drinkwaternet). Er is geen rekening gehouden met eventuele aanwezigheid van DOC en kleur.
- Na verwijdering van Ca en Mg door RO is remineralisatie nodig voor directe drinkwaterproductie (scenario's A1 t/m A3). In sommige gevallen zou bijmenging van brak water (gevolgd door zuivering en RSF) hiervoor een optie zijn.
- Voor directe drinkwaterproductie (scenario's A1 t/m A3) is desinfectie nodig om micro-organismen te elimineren
- Waarschijnlijk pH correctie nodig in scenario's A1 t/m A3



FIGUUR 5-8. SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S.

6 Raming kosten drinkwaterproductie uit brakwaterwinning

6.1 UITGANGSPUNTEN KOSTENRAMING

Tabel 6-1 tot en met Tabel 6-5 geven een overzicht van de uitgangspunten bij de kostenraming voor de onttrekking, zuivering en levering van brakwater uit Solleveld en polder de Noordplas.

TABEL 6-1. UITGANGSPUNTEN ZUIVERING BRAKWATER

Uitgangspunt	Noordplas	Solleveld
Debiet onttrekking	1000 m ³ /h	650 m ³ /h
Debiet permeaat	500 m ³ /h	325 m ³ /h
Debiet concentraat	500 m ³ /h	325 m ³ /h
Aantal winputten per locatie	25	25
Aantal infiltratieputten per locatie	10	10
RO flux	25 l/m ² *h	25 l/m ² *h
RO stages	1	1
RO recovery	50%	50%
RO membraantype	ECO-440i	ECO-440i
RO # pressure vessels	72	72
RO # membranen	432	432
Filtratiesnelheid snelfilter	8 m/h	8 m/h
Verblijftijd (vuil) spoelwaterbuffer	2 uur	2 uur
Volume (vuil) spoelwaterbuffer	1000 m ³	650 m ³
Volume slibbuffer	50 m ³	50 m ³
Filtratiesnelheid remineralisatie	8 m/h	-
Verblijftijd reinwater berging	24 uur	24 uur
Volume reinwater berging	12,000 m ³	7,800 m ³

TABEL 6-2. UITGANGSPUNTEN LEIDINGWERK

Uitgangspunt	Noordplas & Solleveld	
Opvoerhoogte winning	20 m	
Opvoerhoogte reinwater	40 m	
Opvoerhoogte concentraat	40 m	
Leidingmateriaal	PVC, gedeeltelijk HDPE	
Dekking leiding	1,0 meter t.o.v. maaiveld	
Calculaties	Op basis van schetsontwerp, kentallen en prijspeil van 2017	
Kosten leidingen	Bestaande uit: • Uitvoeringskosten leidingen + opslag (mobilisatie aannemer, winst & risico, detaillering) • Engineering & directie leidingen + opslag (engineering en project management, studie en onderzoek rapporten, directievoering, toezicht en backoffice) • Materiaalkosten • Onvoorzien (15%)	Uitgesloten kostenaspecten: • kathodische bescherming • archeologie • niet-gesprongen explosieven • milieukundige bodemverontreinigingen • aanvragen vergunningen • afhandeling zakelijk recht • ecologische aspecten • verlegging kabels en leidingen

TABEL 6-3. UITGANGSPUNTEN ENERGIE

Uitgangspunt	Energie (Wh/m3) *
Pompputten	60
Microzeef	20
Booster pompstation	12
RO	1,200
Cascadebeluchting	56
Snelfiltratie	10
Spoelwaterbuffer	8
Slibbuffer	8
Remineralisatie	10
UV desinfectie	54
Reinwater berging	6
Reinwater verpompen	Berekend op basis van opvoerhoogte, debiet en lengte leidingwerk
Concentraat verpompen	Berekend op basis van opvoerhoogte, debiet en lengte leidingwerk

* Waardes gebaseerd op praktijkgetallen m.u.v. verpompen reinwater en concentraat (deze zijn berekend)

TABEL 6-4. UITGANGSPUNTEN VERBRUIKSGOEDEREN

Uitgangspunt	Verbruik
CaMg(CO ₃) ₂ voor remineralisatie	20 mg/l, 88 ton/jaar
CaCO ₃ voor remineralisatie	20 mg/l, 88 ton/jaar
Levensduur membranen	8 jaar
Uitgangspunt	Verbruik

TABEL 6-5. UITGANGSPUNTEN VOOR DE KOSTENRAMING VOOR BRAKWATERWINNING BIJ NOORDPLAS EN SOLLEVELD

Uitgangspunt	Noordplas & Solleveld
Onvoorziene kosten	15% van directe + indirecte kosten (CAPEX)
Mobilisatiekosten	5% van directe kosten (CAPEX)
Kosten utilities (gebouwen, bekabeling etc.)	40% van directe kosten (CAPEX)
Elektriciteitskosten	0,07 €/kWh
Gemiddelde afschrijving	20 jaar
Rente	0,7% - 3% (beide door gerekend)

6.2 RESULTERENDE KOSTEN EN PRIJS PER GEPRODUCEERDE M³

Bij de kostenraming is uitgegaan van rentepercentages van 0.7% en 3%. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 6-6, Tabel 6-7, Figuur 6-1 en Figuur 6-2. Daarnaast zijn de kosten uitgesplitst in productiekosten en transportkosten in Figuur 6-3 en Figuur 6-4.

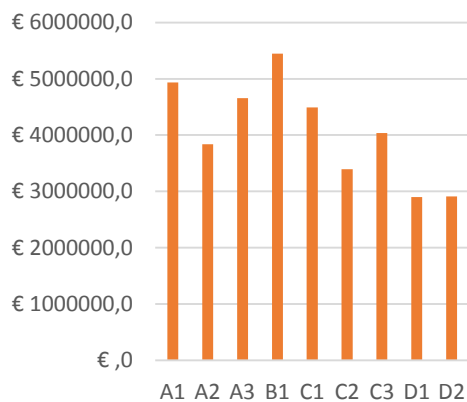
TABEL 6-6. OVERZICHT VAN DE KOSTENRAMING VAN DE SCENARIO'S BIJ EEN RENTE VAN 0.7%.

Locatie	Sce-nario	Debiet onttrekking		CAPEX (+ 25% / -25%)	Afschrijving	OPEX (+ 25% / -25%)	Totale kosten		Kosten productie vs. transport	
							Per jaar	Per m ³ drink- water	Productie (zuivering)	Transport (product en conc. afvoer)
		m ³ /d	m ³ /j				€	€/j	€/j	€/j
Noordplas	A1	24.000	8.760.000	€ 93,690,000	€ 3,174,000	€ 1,762,000	€ 4,936,000	€ 1.13	€ 0.70	€ 0.42
Noordplas	A2	24.000	8.760.000	€ 64,374,000	€ 2,181,000	€ 1,654,000	€ 3,835,000	€ 0.88	€ 0.69	€ 0.18
Noordplas	A3	24.000	8.760.000	€ 80,891,000	€ 2,741,000	€ 1,913,000	€ 4,654,000	€ 1.06	€ 0.74	€ 0.32
Noordplas	B1	24.000	8.760.000	€ 116,364,000	€ 3,942,000	€ 2,540,000	€ 6,482,000	€ 1.24	€ 0.55	€ 0.69
Noordplas	C1	24.000	8.760.000	€ 89,732,000	€ 3,040,000	€ 2,492,000	€ 5,532,000	€ 1.26	€ 0.77	€ 0.49
Noordplas	C2	24.000	8.760.000	€ 60,417,000	€ 2,047,000	€ 2,384,000	€ 4,431,000	€ 1.01	€ 0.76	€ 0.25
Noordplas	C3	24.000	8.760.000	€ 76,934,000	€ 2,607,000	€ 2,469,000	€ 5,076,000	€ 1.16	€ 0.77	€ 0.39
Solleveld	D1	15.600	5.694.000	€ 41,005,000	€ 1,390,000	€ 1,362,000	€ 2,752,000	€ 0.97	€ 0.83	€ 0.14
Solleveld	D2	15.600	5.694.000	€ 41,274,000	€ 1,399,000	€ 1,344,000	€ 2,743,000	€ 0.96	€ 0.84	€ 0.12

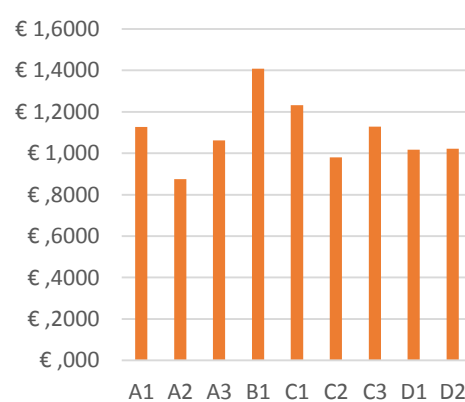
TABEL 6-7. OVERZICHT VAN DE KOSTENRAMING VAN DE SCENARIO'S BIJ EEN RENTE VAN 3%.

Locatie	Sce-nario	Debiet onttrekking		CAPEX (+ 25% / -25%)	Afschrijving	OPEX (+ 25% / - 25%)	Totale kosten		Kosten	
							productie vs. transport		Productie (zuivering)	Transport (product en conc. afvoer)
		Per jaar	Per m ³ drink- water	€/m ³	€/m ³					
		m ³ /d	m ³ /j	€	€/j	€/j	€/j	€/m ³		
Noordplas	A1	24.000	8.760.000	€ 93,690,000	€ 3,969,000	€ 1,762,000	€ 5,731,000	€ 1.31	€ 0.79	€ 0.52
Noordplas	A2	24.000	8.760.000	€ 64,374,000	€ 2,727,000	€ 1,654,000	€ 4,381,000	€ 1.00	€ 0.78	€ 0.22
Noordplas	A3	24.000	8.760.000	€ 80,891,000	€ 3,427,000	€ 1,913,000	€ 5,340,000	€ 1.22	€ 0.82	€ 0.40
Noordplas	B1	24.000	8.760.000	€ 116,364,000	€ 4,929,000	€ 2,540,000	€ 7,469,000	€ 1.71	€ 0.85	€ 0.86
Noordplas	C1	24.000	8.760.000	€ 89,732,000	€ 3,801,000	€ 2,492,000	€ 6,293,000	€ 1.44	€ 0.84	€ 0.60
Noordplas	C2	24.000	8.760.000	€ 60,417,000	€ 2,560,000	€ 2,384,000	€ 4,944,000	€ 1.13	€ 0.82	€ 0.30
Noordplas	C3	24.000	8.760.000	€ 76,934,000	€ 3,259,000	€ 2,469,000	€ 5,728,000	€ 1.31	€ 0.83	€ 0.48
Solleveld	D1	15.600	5.694.000	€ 41,005,000	€ 1,737,000	€ 1,362,000	€ 3,099,000	€ 1.09	€ 0.92	€ 0.16
Solleveld	D2	15.600	5.694.000	€ 41,274,000	€ 1,749,000	€ 1,344,000	€ 3,093,000	€ 1.09	€ 0.94	€ 0.15

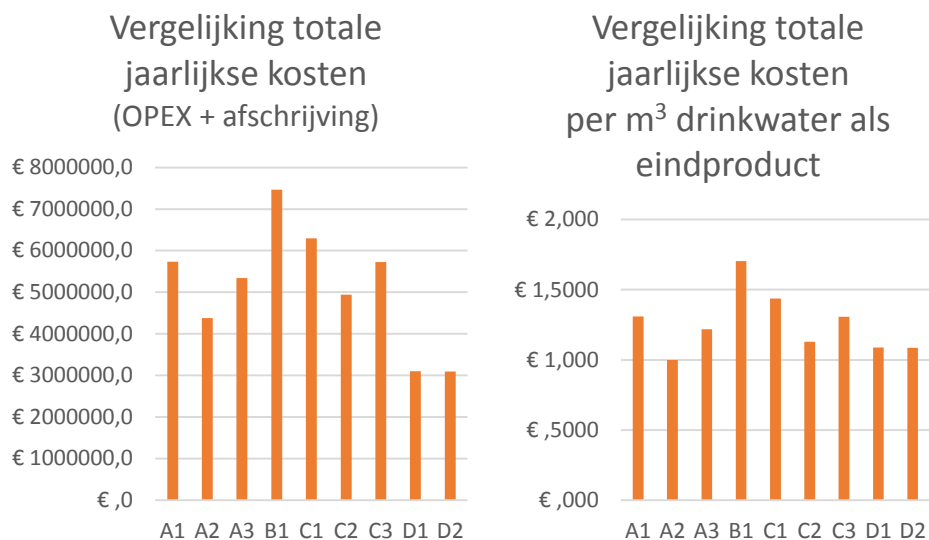
Vergelijking totale
jaarlijkse kosten
(OPEX + afschrijving)



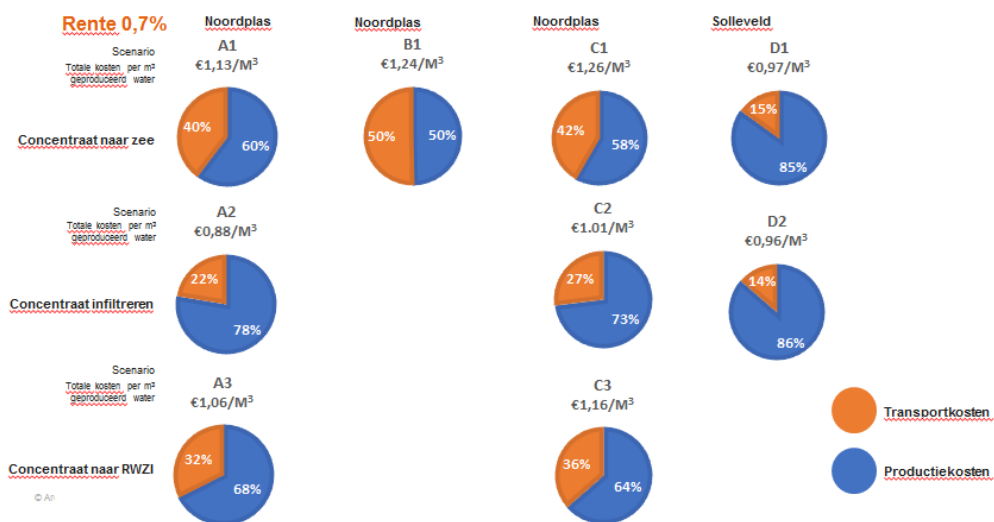
Vergelijking totale
jaarlijkse kosten
per m³ drinkwater



FIGUUR 6-1. VERGELIJKING VAN DE TOTALE JAARLIJKSE KOSTEN VAN DE SCENARIO'S BIJ EEN RENTE VAN 0.7%.



FIGUUR 6-2. VERGELIJKING VAN DE TOTALE JAARLIJKSE KOSTEN VAN DE SCENARIO'S BIJ EEN RENTE VAN 3%.



FIGUUR 6-3. VERGELIJKING VAN PRODUCTIEKOSTEN VS. TRANSPORTKOSTEN (% VAN DE JAARLIJKSE KOSTEN) BIJ EEN RENTE VAN 0.7%.



FIGUUR 6-4. VERGELIJKING VAN PRODUCTIEKOSTEN VS. TRANSPORTKOSTEN (% VAN DE JAARLIJKE KOSTEN) BIJ EEN RENTE VAN 3%.

Uit de resultaten van de kostenraming kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het produceren van drinkwater uit brakwater en afvoeren van brijn is mogelijk tegen een kostprijs van ca. 0.9 tot 1.3 euro/m³ (bij 0.7% rente);
- De goedkoopste cases zijn die waarbij het brijn in de bodem wordt geretourneerd of dichtbij op zee kan worden geloosd;
- Bij een hogere rente, neemt de kostprijs toe naar 1,0 tot 1,7 euro/m³ (bij 3.0% rente);
- Verlaging van de kostprijs met ca 20% is haalbaar wanneer het brakke water verder wordt ingedikt zodat meer drinkwater per onttrokken m³ brakwater wordt onttrokken;
- Wat betreft OPEX en afschrijvingskosten zijn de meest interessante scenario's A2, C2 (Noordplas) en D1, D2 (Solleveld). Dit is grotendeels te danken aan de lagere transportkosten t.o.v. de overige scenario's (zowel concentraat als permeaat worden over relatief korte afstand getransporteerd).
- Solleveld is in vergelijking met Noordplas gunstiger wat betreft OPEX en afschrijvingskosten.
- Daarentegen is scenario A2 (Noordplas) gunstiger wat betreft kosten per m³ drinkwater. Dit is te danken aan het feit dat in Solleveld minder drinkwater wordt geproduceerd (65% t.o.v. Noordplas).

Op basis van bovenstaande conclusies wordt geadviseerd om scenario's A2, C2, D1 en D2 verder uit te werken.

6.3 SYSTEEMOPTIMALISATIE (VERSCHILLENDE RECOVERY EFFICIENCIES)

Aanvullend is onderzocht in hoeverre verhoging van de recovery efficiency kan leiden tot verlaging van de kosten. In de kostenanalyse (sectie 6.2) is uitgegaan van 50% recovery van zoet water ten opzichte van het gewonnen water. Door modellering met de software ROSA (Dow) op basis van een 1 stage RO (1 pass, 72 pressure vessels, 432 membranen van type ECO-440i) zijn de maximale recoveries voor het brakwater van de Noordplas polder en Solleveld ingeschat op respectievelijk 63% en 57%. De resultaten van het debiet en energieverbruik zijn weergegeven in Tabel 6-8 en de bijbehorende kosten in Tabel 6-9 en Figuur 6-5.

De resultaten laten zien dat er bij hogere recovery efficiëncies een lager onttrekkingsdebiet nodig is en er minder energie verbruikt wordt. Hier staat een meer geconcentreerde concentraat stroom tegenover.

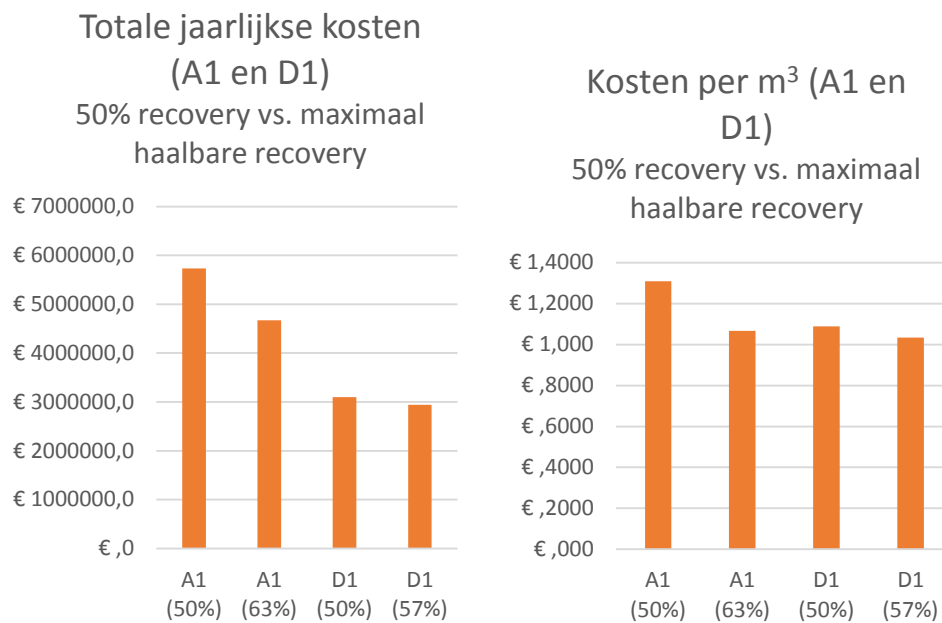
De totale jaarlijkse kosten van scenario A1 (Noordplas) vallen lager uit met de hogere (maximaal haalbare) recovery van 63%. Dit levert hoger geconcentreerd concentraat op. In combinatie met afvoer van concentraat naar zee kan dit de overweging waard zijn. Voor Solleveld levert de hogere recovery (57%) ook iets lagere kosten per m3 drinkwater op.

TABEL 6-8. CONCENTRATIES NH₄, DEBIETEN EN ENERGIEVERBRUIK BIJ VERSCHILLENDE RECOVERY EFFICIENCIES.

Locatie	Recovery	NH ₄		Debiet			Energie		
		Permeaat	Conc.	Feed	Permeaat	Conc.	Vermogen	Specifieke energie	Jaarlijks verbruik
		mg/l	mg/l	m ³ /u	m ³ /u	m ³ /u	kW	kWh/m ³	kWh/j
Noordplas	50%	0.33	38	1000	500	500	526	1.05	4,559,000
Noordplas	63%	0.40	51	794	500	294	432	0.86	3,766,800
Solleveld	50%	0.27	22	650	325	325	844	1.69	4,811,430
Solleveld	57%	0,30	25	570	325	245	781	1.56	4,441,320

TABEL 6-9. KOSTENRAMINGEN BIJ VERSCHILLENDE RECOVERIES (RENTE 3%).

Locatie	Scenario (recovery %)	Debiet onttrekking		CAPEX (+ 25% / - 25%)	Af-schrijving	OPEX	Totale kosten		Kosten productie vs. transport					
		m³/d	x1000 m³/j				x1000€	x1000€/j	x1000€/j	x1000€/j	Per jaar	Per m³ geproduc. water	Pro- ductie (zui- vering)	Transport (product en conc. afvoer)
Noordplas	A1 (50%)	24.000	8.760	€ 93,690	€ 3,969	€ 1,762	€ 5,731	€ 1.31	€ 0.79	€ 0.52				
Noordplas	A1 (63%)	19.048	6.952	€ 73,902	€ 3,131	€ 1,543	€ 4,674	€ 1.07	€ 0.72	€ 0.35				
Solleveld	D1 (50%)	15.600	5.694	€ 41,005	€ 1,737	€ 1,362	€ 3,099	€ 1.09	€ 0.92	€ 0.16				
Solleveld	D1 (57%)	13.684	4.994	€ 39,082	€ 1,656	€ 1,288	€ 2,944	€ 1.03	€ 0.89	€ 0.14				



FIGUUR 6-5. TOTALE JAARLIJKSE KOSTEN EN KOSTEN PER M³ VERGELEKEN VOOR SCENARIO A1 EN D1 BIJ VERSCHILLENDE RO RECOVERY EFFICIENCIES. RENTE: 3%

6.4 MOGELIJKE KOSTENBESPARING SOLLEVELD I.V.M. VERVALLEN NOODZAAK ONTHARDING

Op dit moment dient de geproduceerde 8 miljoen m³ duinwater te Solleveld nog onthard te worden voordat het, via desinfectie, gedistribueerd wordt. Door het gewogen opmengen van het permeaat van de brakwater winning worden de kosten die verbonden zijn aan deze ontharding vermeden. Deze vermeden kosten liggen tussen de € 0,11 (informatie Dunea) en € 0,06 per m³ duinwater (Tabel 6-10).

TABEL 6-10. KOSTENRAMING ONTHARDING DUINWATER (DEZE STUDIE)

	€ totaal	€/m ³
Chemicalien verbruik (praktijk kental)		0.02
Opex (Kostenraming COASTAR, 15 jaar)	41,789	0.01
Capex (Kostenraming COASTAR, 15 jaar)	2,089,451	0.03
Totaal kosten ontharding per m ³		0.06

De huidige drinkwaterprijs van Dunea (2018) is 1,00 euro/m³. De productiekosten hierin bedragen 0,32 euro/m³ (gerekend vanaf inname Afgedamde Maas t/m aflevering in de reinwaterkelders). De indirecte kosten komen hier nog bovenop (personeel, gebouwen, onderhoud distributienet etc.). De directe productiekosten beslaan dus een-derde van de totale drinkwaterprijs.

Voor PS Solleveld betekent dit:

- Huidige productie 8 miljoen m³/jaar; de kosten hiervan zijn in totaal 1 euro/m³ (0,32 euro productiekosten en 0,68 euro overige kosten)

- Uitbreiding productie met 2,67 miljoen m³ permeaat na brakwaterwinning, inclusief voordeel ontharding na opmengen kan tegen productiekosten 0,47-0,62 euro/m³ (totale kosten worden 1,15-1,30 euro/jaar)
- Bij opmenging (3:1) gaat de productie naar 10,67 miljoen m³/jaar; gemiddelde kostprijs drinkwater geproduceerd ter plaatse van Solleveld wordt dan 1,04 – 1,075 euro /jaar. **Dit is een stijging van de totale drinkwaterprijs met 4 tot 7,5 cent/m3 (of 4-7,5%).**
- Ten overvloede: de baten m.b.t. het toenemen van de strategische reserve ter plaatse van Solleveld is hierbij niet meegenomen.

7 Beschouwing lozing concentraat in bodem

7.1 INLEIDING

Het lozen van concentraat in de bodem heeft intuïtief niet de voorkeur, omdat dit kan leiden tot een risico op verslechtering van de grondwaterkwaliteit. Voor de volledigheid en omdat het leidt tot een grote reductie in kosten van de brakwaterwinning in combinatie met drinkwaterproductie, is hier toch een beschouwing van een dergelijke lozing (in derde watervoerende pakket) voor de locaties Noordplas en Solleveld toegevoegd.

7.2 TOETSING AAN GESTELDE CRITERIA EVENTUELE ONTHEFFING

Op basis van de eerder gestelde criteria (Pelamonia and Keessen, 2012), kan een indicatie worden verkregen van de mogelijk afweging van concentraatlozing in de bodem in plaats van het afvoeren naar zee. Een aanzet tot deze afweging is gedaan in Tabel 7-1. Niet alle onderdelen kunnen op basis van deze eerste studie worden afgewogen, maar een duidelijke belemmering komt in deze fase nog niet naar voren.

Van belang is wel om op te merken dat de brakwaterwinningen in ieder geval in de nabijheid van de putten lijken te leiden tot een prominenter stratificatie van de grondwaterkwaliteit:

- initieel wordt brakwater met relatief lage concentraties aangetrokken en wordt het hierin aanwezige zout in de helft van het volume met dubbele concentraties (diep) terug de bodem ingebracht;
- bovenin wordt het water zoeter door infiltratie van zoetwater via het topsysteem, dit stroomt uiteindelijk ook richting de winputten;
- van onderaf en in Solleveld ook vanaf de zeekant blijft brakwater toestromen met een gelijke of stijgende concentratie;
- het netto effect lijkt vooral een scherpere overgang tussen zoet en brak grondwater te zijn.

Afgewogen dient te worden of deze versterkte stratificatie acceptabel wordt geacht. Aan maaiveld kunnen de effecten als positief worden gezien: zout blijft op grote afstand en heeft geen negatief effect meer op wortelzone en oppervlaktewater.

Intrusie van zoutwater richting binnenland of oppervlaktewater lijkt niet te ontstaan door de brakwaterwinningen, maar juist te worden voorkomen. In de casus Solleveld valt wel op dat het lijkt alsof een voorraad van relict brakwater onder de Noordzee versneld aangetrokken en 'gemijnd' wordt (zie Figuur 3-15).

TABEL 7-1. VERKENNENDE BESCHOUWING BRAKWATERLOZING

Eis	Noordplas	Solleveld
Chlorideconcentratie in brijn is lager of gelijk aan de concentratie in het ontvangende grondwater.	Kan aan worden voldaan indien dieper dan WVP2, zie scenario 003 en 005.	Niet onderzocht, maar op basis van Cl-concentraties haalbaar
Voor overige stoffen mogen de geldende normen niet overschreden worden.	Dient nader te worden onderzocht	Dient nader te worden onderzocht
Er is een waterscheidende laag tussen de aquifer waar water gewonnen wordt en waar het brijn wordt geloosd.	Voldoet	Voldoet
Regelmatige monitoring vindt plaats	Kan eenvoudig aan worden voldaan indien in beheer bij drinkwaterbedrijf	Kan eenvoudig aan worden voldaan indien in beheer bij drinkwaterbedrijf
Energiezuinigheid	Gezien het wrijvingsverlies over de leiding is afvoer naar zee relatief ongunstig	Afvoer naar zee is gunstiger dan in de bodem (zelfde afstand, lagere statische druk)
Voorkoming van uitputting van de voorraad brak water en van bodemdaling.	Op basis van (uiteindelijk) stabiele onttrekkings-concentraties en mogelijke groei zoetwatervoorraad lijkt uitputting te worden voorkomen. LET OP: op basis doorsnedes neemt brakwatervolume af en wordt contrast tussen zoet en zout grondwater groter. Ondiep: zoeter; diep: zouter	Op basis van (uiteindelijk) stabiele onttrekkings-concentraties en mogelijke groei zoetwatervoorraad: uitputting lijkt te worden voorkomen. LET OP: op basis doorsnedes neemt brakwatervolume af en wordt contrast tussen zoet en zout grondwater groter. Ondiep: zoeter; diep: zouter

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 CONCLUSIES

Brakwaterwinning lijkt op verschillende locaties in de regio Rotterdam – Westland meerwaarde te hebben voor de zoetwatervoorziening en het (grond)waterbeheer. Voor twee locaties is dit verkend: duinwaterwinning Solleveld en Polder de Noordplas.

Op de locatie Solleveld kan brakwater mogelijk als extra bron voor drinkwater (2.67 Mm³/jaar) gebruikt worden waarbij met behulp van het Freshkeeper-principe de zoetwatervoorraden vergroot worden met ca. 4 Mm³/decennium. Onbekend is welk deel hiervan winbaar is. Het brakke water kan ontzilt worden met behulp van RO, waarna het concentraat op zee geloosd kan worden of in de diepe ondergrond kan worden geloosd, beiden afhankelijk van beleidsmatige goedkeuring. Deze diepe lozing is niet gemodelleerd.

Het zoete water kan bij pompstation Monster worden gemengd met duinwater, voordat na-zuivering plaatsvindt. De resulterende kosten (Tabel 8-1) worden geschat op € 0.96 - € 1.10 (±25%) per m³ extra geproduceerd drinkwater (2.67 Mm³/j). Een hogere recovery van de membranen (meer indikking naar het concentraat) kan nog tot 20% kostenreductie per m³ opleveren. Door bijmenging van permeaat aan het duinwater (verhouding permeaat: duinwater van 1:3), kan de (deel)ontharding van het duinwater (8 Mm³/j) uit bedrijf worden genomen, en kunnen kosten in de toekomst worden bespaard (0.06 – 0.11 euro/m³ geproduceerd drinkwater te Solleveld).

In de Polder de Noordplas kan brakwater worden gewonnen uit de ondergrond, voor de productie van drinkwater (grootweg 4 Mm³/jaar). Dit leidt volgens een eerste modellering tot een significante vermindering van de brakke kwel tot maximaal zo'n 60%. Keuze voor een winning van brakwater in WVP2 leidt weliswaar tot brakker voedingswater (tot 3000 mg/l Cl), maar zorgt ook voor meer vergroting van het volume ondiep zoet grondwater en op termijn een gelijke reductie van de zoutvracht wanneer vergeleken met winning in WVP1. Het lozen van het concentraat in de bodem heeft (zeker bij relatief ondiepe lozing) een negatieve impact op de reductie van de zoutvracht.

Er zijn verschillende mogelijkheden wat betreft de verwerking van het gewonnen water. Het ontzilde water kan direct op het drinkwaternet aangesloten worden (na opharding en desinfectie), naar duinwater pompstation Katwijk worden getransporteerd (via geheel nieuw leidingtracé) of via de Bergambachtleiding (BAL) met rivierwater worden vermengd voor verdere zuivering in de duinen. Het concentraat dat vrijkomt bij de ontzilting kan via leidingwerk getransporteerd worden en op zee geloosd worden, geloosd worden in de ondergrond (mits beleidsmatig mogelijk). Afvoer naar RWZI Harnaspolder is beschouwd, maar waarschijnlijk niet realistisch in verband met de hoge Cl-concentraties. Omdat transportkosten voor de afvoer van concentraat erg hoog kunnen worden, zijn de opties met lozing van het concentraat in de bodem qua kosten het meest gunstig: 0.88 – 1.13 (±25%) per m³ drinkwater.

TABEL 8-1. SAMENVATTING VAN DE SCENARIO'S EN BIJBEHORENDE KOSTEN.

Locatie	Scenario	Bestemming reinwater	Bestemming concentraat	Inschatting kosten per m ³ drinkwater		Extra RO efficiency
				0.7% rente	3% rente	
Noordplas	A1	Drinkwaternet	Zee	€ 1.13	€ 1.31	€ 1.07
	A2	Drinkwaternet	Infiltreren	€ 0.88	€ 1.00	
	A3	Drinkwaternet	Harnaschpolder	€ 1.06	€ 1.22	
	B1	PS Katwijk	Zee	€ 1.24	€ 1.71	
	C1	BAL	Zee	€ 1.26	€ 1.44	
	C2	BAL	Infiltreren	€ 1.01	€ 1.13	
	C3	BAL	Harnaschpolder	€ 1.16	€ 1.31	
Solleveld	D1	PS Monster	Zee	€ 0.97 ^{1,2}	€ 1.09 ^{1,2}	€ 1.03
	D2	PS Monster	Infiltreren	€ 0.96 ^{1,2}	€ 1.09 ^{1,2}	

¹ Besparing tot 20% mogelijk bij verhoging recovery van omgekeerde osmose.

² Leidt tot besparing van 0.06 – 0.11 euro/m³ bij de ontharding van 8 Mm³/j

8.2 AANBEVELINGEN VERVOLG POLDER DE NOORDPLAS

Hydrologisch en kostentechnisch is brakwaterwinning in het gebied Noordplas een mogelijk interessante optie voor vergroting van de zoetwaterbeschikbaarheid. Nader onderzoek en inzet zijn noodzakelijk om:

- de baten te kwantificeren en af te wegen tegen de kosten
- de hydrologische impact van de brakwaterwinnig betrouwbaarder te kwantificeren
- mogelijke risico's te identificeren en af te wegen
- een optimale inrichting van een eventueel puttenveld te bewerkstelligen
- de technische aansluiting op het drinkwaternet en de afvoer van technische-juridische concentraat nader uit te werken
- een dergelijk winveld (incl. zuivering) in de polder ruimtelijk in te passen
- stakeholders te betrekken

Uit overleg met Dunea, Rijnland, Oasen, Deltares, Arcadis en KWR blijkt dat allereerst de maatschappelijke kosten-baten analyse (zoals uitgevoerd in *COASTAR. Verkenning kosten, baten en financiering*) nader gekwantificeerd dienen te worden.

Vervolgens zou via vier sporen vervolg kunnen worden gegeven aan uitwerking van de brakwaterwinning:

1. Veldonderzoek ten behoeve van nadere kwantificering doelaquifers en ter validatie van modelaannames

- Proefboring incl. sedimentmonsternamen+analyse en boorgatmeting, tot minimaal 150 m. Inclusief peilfilters op ca. 10 dieptes
 - Monsternamen en analyse grondwater, hierbij zou ook naar aanvullende kwaliteitsparameters zoals bijvoorbeeld methaan, DOC en kleur gekeken moeten worden.
 - Realiseren pompput watervoerend pakket 1
 - Uitvoeren pompproef / capaciteitstest, inclusief interpretatie
2. Verfijnde modelstudie met focus op zoet-zout en effecten op omgeving
- het verfijnen van de modeldiscretisatie
 - toevoegen van meer detail in de lithologie m.b.v. GEOTOP
 - toevoegen van de nieuwe zoet-zout verdeling (Oude Essink and Forzoni, 2017); extra metingen uit Stap 1 (veldonderzoek)
 - optimaliseren van de onttrekking- en infiltratiedebieten
 - selecteren mogelijke locaties pilot
3. Nadere technische en juridische uitwerking aansluiting op drinkwaternet en technisch-juridische uitwerking afvoer concentraat, ruimtelijke inpassing
- Het verfijnen van de opzet van opwerkinstallatie; uitwerken gesignaleerde kansen voor optimalisatie;
 - Nadere detaillering aansluiting behandeld brakwater op drinkwater productielijn;
 - Nader uitwerken materiaal alternatieven transportleidingen;
 - Bepalen leidingtracés en bijbehorende juridisch kader;
 - Uitwerken juridisch kader lozen brijn op Noordzee en lozen brijn in de diepere ondergrond;
4. Betrekking stakeholders

Na uitvoering van deze fase zou gedacht kunnen worden aan het uitvoeren van een kleinschalige pilot.

8.3 AANBEVELINGEN BRAKWATERWINNING DUINGEBIED DUNEA

Zoals eerder gesteld, zijn de configuraties van de brakwateronttrekkingen in de doorgerekende scenario's nog niet geoptimaliseerd. Er wordt aanbevolen een dergelijke optimalisatie uit te voeren om de volle potentie van de brakwaterwinningen en het Freshkeeperprincipe in het duingebied (zowel Solleveld, als Meijendel) goed in beeld te krijgen. In de optimalisatie kunnen de volgende vragen beantwoord worden:

Hydrologisch

1. Wat is de optimale positie van de onttrekkingen in de diepte:
 - a. In het tweede of derde watervoerende pakket, of beide?
 - b. Lateraal: bij de zeereep of vlak onder huidige bekkeninfiltratie?
 - c. Verticaal: aan basis van het pakket, of in het gehele pakket?
 - d. Zowel lateraal als verticaal (WVP3)
2. Wat zijn de optimale debieten voor optimale brakwaterkwaliteit en vergroting van de zoetwaterlens?
3. Wat zijn de locaties waar in perioden van innamestops (dus geen infiltratie via bekkensysteem) zo lang mogelijk zoetwater valt te winnen? En hoeveel? Dit is een belangrijke vraag t.b.v. bepaling van een eventuele strategische voorraad.

4. Wat is de verticale stratificatie van de volledige samenstelling van het grondwater? Dit ten behoeve van een nader ontwerp van de zuivering via omgekeerde osmose en bepaling van de samenstelling van het concentraat ten behoeve van de lozing.
5. Wat is de impact op huidige bekkensysteem (stroomlijnen, verblijftijden, stroombanen percolaatwater puinduin (Solleveld): bedreigen deze de huidige winning rondom het bekken of de strategische voorraad)?

Ter verbetering van de betrouwbaarheid van de modellering:

6. Wat is de invloed van de (onzekere) weerstand van de eerste slecht-doorlatende laag (25000, 5000 / 500 / 50 dagen)?
7. Hoever verbeteren de schematisatie en parameterwaarden met een geologische schematisatie gebaseerd op GEOTOP (Van Der Meulen et al., 2013), waarbij meerdere realisaties van de ondergrond worden meegenomen? Wat is dan de meest waarschijnlijke range van weerstanden waarmee moet worden gerekend?
8. Onderzoek of de uitgewerkte resultaten van SkyTEM iets kunnen toevoegen aan de (betrouwbaarheid van de) modellering?

Technisch

9. Hoe dient de zuiveringsinstallatie op basis van samenstelling van het brakke water in detail te worden vormgegeven?
10. Hoe dienen putten in detail te worden vormgegeven om een maximale capaciteit, doch minimale onttrekking van deeltjes uit de aquifer te garanderen?
11. Welke tracés hebben de voorkeur om de toekomstige infrastructuur te verbinden?

Beleidsmatig

12. Welke lozingsspoor verdient de voorkeur voor het lozen van het concentraat (zie of bodem) en welke vergunning zijn hiervoor vereist?

9 Referenties

COASTAR rapporten

COASTAR. Referentiesituatie hydro(geo)logie:

Bootsma, H., Van Baaren, E., Oude Essink, G., 2018. COASTAR. Referentiesituatie hydro(geo)logie Zuid-Holland, Rapportnummer: 11200070-001, Deltares.

COASTAR. Verkenning waterbank Westland:

Stofberg, S.F., Zuurbier, K.G., 2018. COASTAR. Verkenning waterbank Westland, Rapportnummer: KWR2018.002, KWR.

COASTAR. Verkenning brakwaterwinning:

Stofberg, S.F., Zuurbier, K.G., Janssen, G., Oude Essink, G., Van Baaren, E., Boonekamp, T., De Buck, W., Hulzebos, J., Schetters, M., Zwolsman, G., 2018. COASTAR. Verkenning strategische brakwaterwinning, Rapportnummer: KWR2018.028, KWR, Deltares, Arcadis, en Dunea.

COASTAR. Verkenning kosten, baten en financiering:

Posma, J.C., Klooster, J.P.G.N., 2018. COASTAR. Verkenning kosten, baten en financiering van drie cases in de regio Den Haag - Westland – Rotterdam, Rapportnummer: 079762618 0.11, Arcadis.

Overige referenties

Delsman, J. R., Hu-a-ng, K. R. M., Vos, P. C. C., De Louw, P. G. B., Oude Essink, G. H. P., Stuyfzand, P. J. and Bierkens, M. F. P.: Paleo-modeling of coastal saltwater intrusion during the Holocene: An application to the Netherlands, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18(10), 3891–3905, doi:10.5194/hess-18-3891-2014, 2014.

H2O, Adaptatie aan klimaatverandering: de regulering van ontziltingsinstallaties ten behoeve van de zoetwatervoorziening, 2013.

Hoogheemraadschap van Rijnland: Inventarisatie wellen., n.d.

Huizer, S., Oude Essink, G. H. P. and Bierkens, M. F. P.: Fresh groundwater resources in a large sand replenishment, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, doi:10.5194/hess-20-3149-2016, 2016.

Huizer, S., Radermacher, M., de Vries, S., Oude Essink, G. H. P., and Bierkens, M. F. P., 2018. Impact of coastal forcing and groundwater recharge on the growth of a fresh groundwater lens in a mega-scale beach nourishment, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 1065-1080, <https://doi.org/10.5194/hess-22-1065-2018>, 2018.

Langevin, C. D., Thorne, D. T. J., Dausman, A. M., Sukop, M. C. and Guo, W.: SEAWAT Version 4: A Computer Program for Simulation of Multi-Species Solute and Heat Transport., 2008.

De Louw, P. G. B. B., Bakkum, R., Folkerts, H. and Van Hardeveld, H.: Het effect van waterbeheer op de chloride- en nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in Polder de Noordplas., 2004.

- De Louw, P. G. B.: Saline seepage in deltaic areas, Vrije Universiteit Amsterdam., 2013.
- De Louw, P. G. B., Oude Essink, G. H. P. and Maljaars, P.: Achtergrondstudie kwelreductietechnieken, 2007.
- De Louw, P. G. B., Oude Essink, G. H. P., Stuyfzand, P. J. and van der Zee, S. E. A. T. M.: Upward groundwater flow in boils as the dominant mechanism of salinization in deep polders, The Netherlands, *J. Hydrol.*, 394(3–4), 494–506, doi:10.1016/j.jhydrol.2010.10.009, 2010.
- De Louw, P. G. B., van der Velde, Y. and van der Zee, S. E. A. T. M.: Quantifying water and salt fluxes in a lowland polder catchment dominated by boil seepage: a probabilistic end-member mixing approach, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15(7), 2101–2117, doi:10.5194/hess-15-2101-2011, 2011.
- De Louw, P. G. B., Doornenbal, P. J. and Hendriks, D.: Veldonderzoek naar het dichten van wellen., 2012.
- Van Der Meulen, M. J. Van Der, Doornenbal, J. C., Gunnink, J. L., Stafleu, J., Schokker, J., Vernes, R. W., Van Geer, F. C., Van Gessel, S. F., Van Heteren, S., Van Leeuwen, R. J. W., Bakker, M. A. J., Bogaard, P. J. F., Busschers, F. S., Griffioen, J., Gruijters, S. H. L. L., Kiden, P., Schroot, B. M., Simmelink, H. J., Van Berkel, W. O., Van der Krogt, R. A. A., Westerhoff, W. E. and Van Daalen, T. M.: 3D geology in a 2D country : perspectives for geological surveying in the Netherlands, *Netherlands J. Geosci. / Geol. en Mijnb.*, 92(4), 217–241, 2013.
- Minnema, B., Kuijper, M.J.M., Oude Essink, G.H.P., Maas, C., Bepaling toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland, NITG 04-189-B, TNO, 2004.
- Oude Essink, G. H. P.: Effect zoet-zout dichtheidseffecten op het grondwatersysteem te Noordwijk., 2015.
- Oude Essink, G. H. P.: Zoet-zout kaarten ondergrond Provincie Zuid-Holland., 2017.
- Oude Essink, G. H. P. and Forzoni, A.: Actualisatie zoet-zout verdeling in watervoerende pakketten in Zuid-Holland, rapport 11200066., 2017.
- Oude Essink, G. H. P., van Baaren, E. S. and Van Vliet, M.: Verkennende studie klimaatverandering en verzilting grondwater in Zuid-Holland., 2008.
- Oude Essink, G. H. P., van Baaren, E. S. E. S. and De Louw, P. G. B. P. G. B.: Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands, *Water Resour. Res.*, 46(10), 1–16, doi:10.1029/2009WR008719, 2010.
- Pelamonia, J., and Keessen, M., Adaptatie aan klimaatverandering : de regulering van ontziltingsinstallaties ten behoeve van de zoetwatervoorziening Artikelen, p. 544-553, 2012.
- Ross, P.S., Raat, K.J., Smith, D.K., Zaadnoordijk, W.J., Business case Freshkeeper Town of Belleair, report 077716525, Arcadis & KWR, 2014.
- Salvador Cob, S., Beaupin, C., Hofs, B., Nederlof, M. M., Harmsen, D. J. H., Cornelissen, E. R., Zwijnenburg, A., Genceli Güner, F. E., and Witkamp, G. J., Amorphous aluminosilicate scaling characterization in a reverse osmosis membrane: Desalination and Water Treatment, v. 51, no. 4-6, p. 936-943, 2013.

Stuyfzand P.J. and M. van der Schans 2018. Effects of intake interruptions on dune infiltration systems in the Netherlands, their quantification and mitigation. STOTEN 630, 757-773, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.104>

Stuyt, L. C. P. M., Van Bakel, J., Delsman, J. R., Massop, H. T. L., Kselik, R. A. L., Paulissen, M. P. C. P., Oude Essink, G. H. P., Hoogvliet, M. and Schipper, P. N. M.: Zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap van Rijnland: Onderzoek met hulp van €ureyeopener 1.0., 2013.

Bijlage I. Waterkwaliteit WVP1 polder de Noordplas

LOCATIE B

	Grondwater WVP1, direct onder deklaag					
	75 m van wel		ter hoogte van wel		-25 m van wel	
	RGP24909 19-8-2008	RGP24909 29-10-2008	RGP24913 19-8-2008	RGP24913 29-10-2008	RGP24914 19-8-2008	RGP24914 29-10-2008
AMMONIUM-N	22	15	26	16	36	30
NITRAAT-N + NITRIET-N	0.17	<0.06	0.14	<0.06	0.15	<0.06
FOSFAAT P-ORTHO		0.88		<0.03		<0.03
FOSFAAT P-TOTAAL	2.9	2	2.2	1.7	6.1	2.1
CHLORIDE	460	430	610	600	400	410
SULFAAT	<10	<10	<10	<10	<10	<10
WATERSTOFCARBONAAT	1100	860	1300	1100	1300	1200
STIKSTOF-TOTAAL	26	18	29	18	39	32
CALCIUM	110	79	160	140	140	140
KALIUM	46	28	34	30	37	34
MAGNESIUM	100	86	89	89	96	94
NATRIUM	350	280	480	440	330	290
IJZER	4.1	3	25	16	24	

	Oppervlaktewater					
	ROP249104 Gelderwoudsepolder; perceel Dorrepaal; midden op wel					
	24-7-2008	5/8/2008	19-8-2008	29-9-2008	15-10-2008	25-3-2009
AMMONIUM-N	22	23	23	24	24	17
NITRAAT-N + NITRIET-N	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
FOSFAAT P-ORTHO	<0.02	<0.02	<0.02	0.05	<0.02	<0.02
FOSFAAT P-TOTAAL	3	1.3	3.8	2.5	3.1	1.4
CHLORIDE	1100	1000	1100	1100	940	900
SULFAAT	<10	<10	<10	<10	<10	<10
WATERSTOFCARBONAAT	1100	1100	1100	1100	1100	1000
STIKSTOF-TOTAAL	28	26	26	28	28	23
CALCIUM	210	210	200	210	190	200
KALIUM	34	34	33	36	32	32
MAGNESIUM	95	94	91	97	89	89
NATRIUM	620	580	630	640	590	590
IJZER	40	26	29	23	27	19

	ROP249105 Gelderwoudsepolder; perceel Dorrepaal; stroomopwaarts van wel					
	24-7-2008	5/8/2008	19-8-2008	29-9-2008	15-10-2008	25-3-2009
AMMONIUM-N	0.23	0.21	0.72	2.1	5.1	0.4
NITRAAT-N + NITRIET-N	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.38
FOSFAAT P-ORTHO	0.7	0.34	1	1.5	2.7	0.23
FOSFAAT P-TOTAAL	1.1	0.76	1.5	1.8	3.3	0.44
CHLORIDE	370	380	280	290	180	140
SULFAAT	100	120	120	140	300	290
WATERSTOFCARBONAAT	310	360	350	450	540	470
STIKSTOF-TOTAAL	2.2	2	3.3	5.4	9	2.8
CALCIUM	130	150	140	170	220	200
KALIUM	13	13	13	18	14	9.9
MAGNESIUM	32	33	31	43	44	44
NATRIUM	180	180	140	160	95	90
IJZER	1.5	0.64	2.6	0.88	2.1	0.86

	ROP249106 Gelderwoudsepolder; perceel Dorrepaal; stroomafwaarts van wel					
	24-7-2008	5/8/2008	20-8-2008	29-9-2008	15-10-2008	25-3-2009
AMMONIUM-N	2	3.2	2.6	10	10	8.1
NITRAAT-N + NITRIET-N	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.32
FOSFAAT P-ORTHO	0.39	0.04	0.57	0.29	0.17	0.1
FOSFAAT P-TOTAAL	2.6	1.6	1.2	1.8	2.9	0.59
CHLORIDE	420	460	320	600	410	430
SULFAAT	97	100	120	88	200	180
WATERSTOFCARBONAAT	390	470	410	730	720	700
STIKSTOF-TOTAAL	4.7	5.4	5.1	13	14	11
CALCIUM	140	160	140	180	210	200
KALIUM	16	16	13	27	19	18
MAGNESIUM	38	43	34	66	60	61
NATRIUM	220	240	170	370	240	260
IJZER	15	9.6	4.2	8.7	9.6	4.8