

KWR 2019.014 | Februari 2019

# **DRAINSTORE: procedé opslag drainwater onder kleilaag**

Activiteit A: Desk study



# Procedé opslag drainwater onder kleilaag

## Activiteit A: Desk study

KWR 2019.014 | Februari 2019

### Opdrachtnummer

402613

### Projectmanager

ir. J.W. (Jan Willem) Kooiman

### Opdrachtgever

Provincie Zeeland

### Kwaliteitsborger(s)

prof. dr. P.J. (Pieter) Stuyfzand

### Auteur(s)

dr. K.G. (Koen) Zuurbier

S.E.M. (Steven) Ros, MSc

T.C.G.W. (Teun) van Dooren, MSc

### Verzonden aan

V.A. (Vincent) Klap

### Jaar van publicatie

2019

### Meer informatie

ir. J.W. (Jan Willem) Kooiman

T +31 30 606 9683

E [Jan.Willem.Kooiman@kwrwater.nl](mailto:Jan.Willem.Kooiman@kwrwater.nl)

Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

F +31 (0)30 60 61 165

E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)

I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)



KWR 2019.014 | Februari 2019 © 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.



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1	Aanleiding en doel	5
1.2	Projectlocatie	5
1.3	Activiteit A: desk study	7
<b>2</b>	<b>Hydrogeologie</b>	<b>9</b>
2.1	Bodemopbouw	9
2.2	Zoet en zout grondwater	9
2.3	Grondwaterstand	13
2.4	Grondwaterstroming	13
2.5	Grondwaterkwaliteit	14
2.6	Overige grondwatergebruikers	14
<b>3</b>	<b>Situatieschets Meulwaeter</b>	<b>19</b>
3.1	Percelen	19
3.2	Bouwplan	19
3.3	Zouttolerantie gewassen	19
<b>4</b>	<b>Waterbalans</b>	<b>21</b>
4.1	Neerslag en verdamping	22
4.2	Infiltratie en onttrekking naar/vanuit de ondergrondse zoetwatervoorraad	22
4.3	Scenario's	25
<b>5</b>	<b>Modellering verschillende putconfiguraties</b>	<b>31</b>
5.1	Aanpak: belangrijkste elementen	31
5.2	Horizontale putten in deklaag	32
5.3	Horizontale putten in homogene zandlaag onder de kleilaag	32
5.4	Verticale putten op 2 niveaus (MPPWs)	35
5.5	Vergelijking horizontale en verticale putten	36
5.6	Inschatting invulling watervraag op basis van horizontale putten	37
<b>6</b>	<b>Inschatting realisatie en kosten</b>	<b>39</b>
6.1	Puttenveld	39
6.2	Zuivering, infiltratie en terugwinning	41
6.3	Totale kosten (plusminus 30%)	41
<b>7</b>	<b>Conclusies</b>	<b>45</b>
7.1	Waterbalans Meulwater	45
7.2	Kosten	45
<b>8</b>	<b>Referenties</b>	<b>47</b>
	<b>Bijlage I Sonderingen</b>	<b>49</b>

**Bijlage II Aanvullende scenario's voor de  
waterbalansberekening**

55

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doel

Het conserveren van zoetwatervoorraden, zodat deze bij droogte benut kunnen worden voor (sub)irrigatie, is van groot belang voor de zoetwatervoorziening in de Zeeuwse landbouw. Binnen GO-Fresh is hiervoor een drietal concepten ontwikkeld (Freshmaker, Kreekruginfiltratiesysteem, Drains2Buffer), welke kunnen worden toegepast onder specifieke condities. De laatste jaren is gebleken dat twee condities nog onderbelicht zijn gebleven, ondanks dat deze op vele plekken respectievelijk voorkomen en beoogd zijn:

1. Aanwezigheid van de zoetwatervoorraad onder een (>8 m) dikke laag klei, waardoor conventionele diepdrains (tot ca. 6 en max. 8 m) geen productie geven.
  - a. De aanleg van diepdrains onder (>8 m) dikke kleilagen is technisch doorgaans niet mogelijk.
  - b. Daarnaast zorgt de aanwezigheid van een dikke kleilaag voor een beperkte/trage natuurlijke aanvulling van de zoetwatervoorraad;
2. Het benutten van water vrijkomend uit samengestelde, peilgestuurde drainage voor infiltratie en daarmee aanvulling van de zoetwatervoorraad, zonder risico op verstopping van infiltratiemiddelen en verontreiniging van het grondwater.

Beide condities zijn niet per definitie gekoppeld en kunnen los van elkaar voorkomen, maar zij vragen om een generiek toepasbaar procedé zodat het uiteindelijke doel (conserveren en benutten zoetwatervoorraden) bereikt kan worden. Hoewel bouwstenen voor een dergelijk procedé aanwezig zijn vanuit GO-Fresh en gerelateerde projecten elders in Nederland, is dit procedé nog niet beschikbaar.

Het doel van dit project is dan ook om:

***Te komen tot een geschikt procedé voor het conserveren en benutten van zoetwatervoorraden onder een dikke kleilaag, en voor het benutten van overtollig zoetwater vrijkomend uit samengestelde, peilgestuurde drainage voor kunstmatige aanvulling van zoetwatervoorraden via putten.***

## 1.2 Projectlocatie

Bij het biodynamische landbouwbedrijf Meulwaeter, gevestigd aan de Hogenakkerweg 25 te Kruiningen en eigendom van de familie Van Hootegem, komen de genoemde condities samen. Meulwaeter is een in hoofdzaak plantaardig biologisch productiebedrijf van meer dan 100 hectare (Figuur 1-1). De gewassen die worden verbouwd zijn gevoelig voor droogte, hetgeen leidt tot een reductie van de opbrengst. Momenteel zijn de percelen van Meulwaeter conventioneel gedraineerd. Ook zijn in 2017 drie diepdrains (5 m-maaiveld) aangelegd. Uit waarnemingen van Dhr. Van Hootegem blijkt dat slechts één van deze drains enig water produceert. Meulwaeter wenst de watervoorziening te verbeteren met een overstap naar peilgestuurde drainage, subirrigatie en beregening in het voorjaar (jonge aanplant, met een gewenst maximaal debiet dat wordt geschat op 60 m<sup>3</sup>/uur).

De ca. 10 m dikke, bruikbare zoetwatervoorraad, die aanwezig is onder een heterogene deklaag ter plaatse van een centraal perceel van 25 ha, kan hierbij als bron dienen voor subirrigatie en beregening op een zo groot mogelijk areaal. Voorwaarden hierbij zijn dat er productieve winmiddelen (horizontaal en/of verticaal) onder de heterogene deklaag aangebracht kunnen worden én er kunstmatige aanvulling van de zoetwatervoorraad wordt gerealiseerd, zodat conservering van de zoetwatervoorraad is gegarandeerd.



Figuur 1-1: Overzicht van de percelen van Meulwaeter. 'Poldertje', een perceel van 25 ha, is de beoogde projectlocatie.



### 1.3 Activiteit A: desk study

De eerste activiteit van dit onderzoek is de uitvoering van een desk-study, waarmee bepaald zal worden of het projectdoel kan worden nagestreefd op de beoogde projectlocatie: het centrale perceel van 25 ha van Meulwaeter. Als onderdeel van deze studie is de lokale en regionale hydrogeologie in kaart gebracht en zijn relevante parameters zo goed mogelijk gekwantificeerd op basis van literatuur en ondergrondmodellen. Daarnaast is de huidige waterbalans van de aanwezige ondergrondse zoetwatervoorraad en van het biodynamische landbouwbedrijf Meulwaeter bepaald. Vervolgens is met de beschikbare gegevens en resultaten een grondwatermodellering uitgevoerd voor drie verschillende putconfiguraties ten behoeve van de opslag en terugwinning van drainwater. Op basis van de beschikbare informatie en de modelresultaten is de te verwachten bedrijfsvoering (infiltratie- en onttrekking in de tijd) en prestatie van een opslag- en winsysteem beschreven, en zijn de te verwachten kosten bepaald.



## 2 Hydrogeologie

### 2.1 Bodemopbouw

De geologie rondom het projectgebied is aan de hand van REGIS II v2.2 en GeoTOP v1.3 bepaald en weergegeven in Figuur 2-1 en Figuur 2-2. Dit beeld is geïnterpoleerd voor het centrum van het projectgebied met behulp van REGIS II v2.2 en weergegeven in Tabel 2-1, waarin tevens de geschatte geohydrologische parameters zijn opgenomen. Door de resultaten van GeoTOP v1.3, REGIS II v2.2, en de lokale boorprofielen te combineren, kan een goede inschatting worden gemaakt van de daadwerkelijke bodemopbouw ter plaatse van het projectgebied.

De Holocene deklaag bestaat uit geulafzettingen en is ongeveer 15 meter dik (Tabel 2-1). Uit de lithologie in Figuur 2-1 en Figuur 2-2, en de sonderingen in Bijlage I blijkt dat de bovenste 10 meter van deze afzettingen erg heterogeen is en bestaat uit een afwisseling van klei, kleiig zand, en fijn zand. Door deze fijne bodemsamenstelling heeft de deklaag (volgens het NHI) een verticale weerstand van ongeveer 50 dagen. Op basis van de sonderingen kan een hogere weerstand echter niet worden uitgesloten door een zeer kleiige ondergrond van 0 tot ca. -9 mNAP (Figuur 2-3, Bijlage I). De onderste 5 meter van de deklaag bestaat voornamelijk uit fijn zand, wat relatief goed doorlatend is.

Onder de deklaag bevinden zich Pleistocene zanden. De Koewacht Formatie is de meest ondiepe zandige formatie en is erg goed doorlatend met een  $k_h$  en  $kD$  van respectievelijk 10 m/d en 80 m<sup>2</sup>/d. De Peize-Waalre Formatie bevindt zich direct onder de Koewacht Formatie en is een tweede goed doorlatende laag met een  $k_h$  en  $kD$  van respectievelijk 6,3 m/d en 76 m<sup>2</sup>/d. Samen met de bovenste meter van de Oosterhout zand 1 en de onderste 5 meter van de deklaag, vormen deze pakketten het eerste watervoerend pakket. Op een diepte van -35 mNAP bevindt zich de basis van het eerste watervoerend pakket. Deze wordt gevormd door de Oosterhout klei 1, een slecht doorlatende laag van 4,9 m dik met een weerstand van 905 dagen.

Uit het GeoTOP v1.3 model blijkt dat binnen het eerste watervoerend pakket mogelijk een lokale slecht doorlatende kleilaag voorkomt op een diepte van ongeveer -20 mNAP met een dikte van ongeveer 50 cm.

Het tweede watervoerend pakket wordt gevormd door de Oosterhout zand 2 en de Breda Formatie. De totale dikte en  $kD$  van dit pakket zijn respectievelijk 54 m en 344 m<sup>2</sup>/dag. Op een diepte van -104 mNAP bevindt zich de slecht doorlatende Rupel Formatie. Met een dikte van 34 meter en een weerstand van  $34 \cdot 10^6$  dagen vormt deze formatie de basis van het tweede watervoerende pakket.

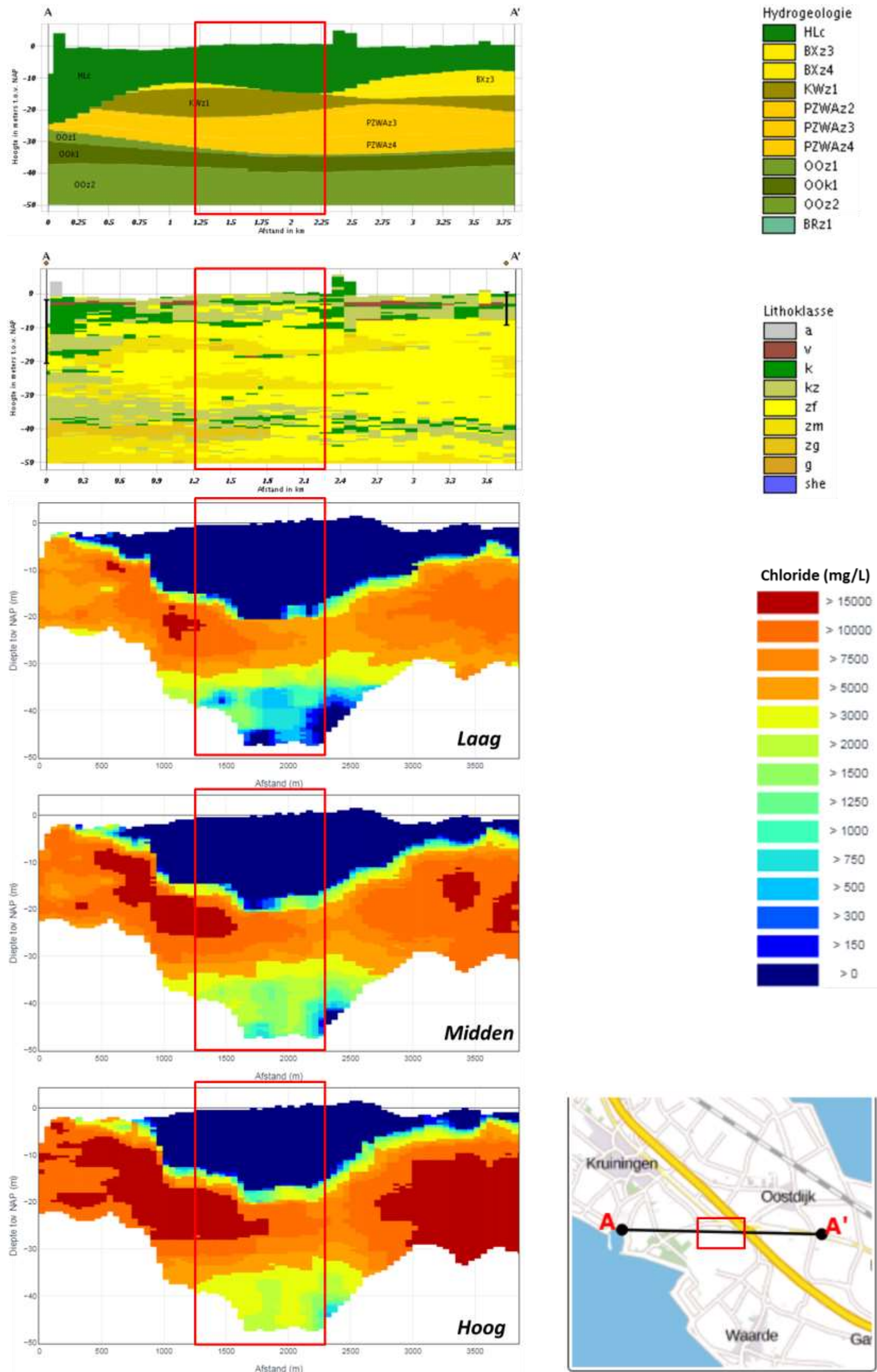
### 2.2 Zoet en zout grondwater

In Figuur 2-1 en Figuur 2-2 zijn tevens de concentratieprofielen van chloride (mg/L) in grondwater op basis van FRESHEM weergegeven. Hieruit blijkt dat ter plaatse van het projectgebied de Holocene deklaag volledig zoet is. De Koewacht Formatie is ook grotendeels zoet. Het grensvlak van zoet naar zout grondwater is erg scherp en bereikt een maximale diepte van -20 mNAP. De diepte van de zoetwatervoorraad lijkt te worden begrensd door lokale kleilagen die aan de bodem van de Koewacht Formatie zichtbaar zijn in de lithoklasseprofielen van GeoTOP v1.3. Grondwater in de Peize-Waalre

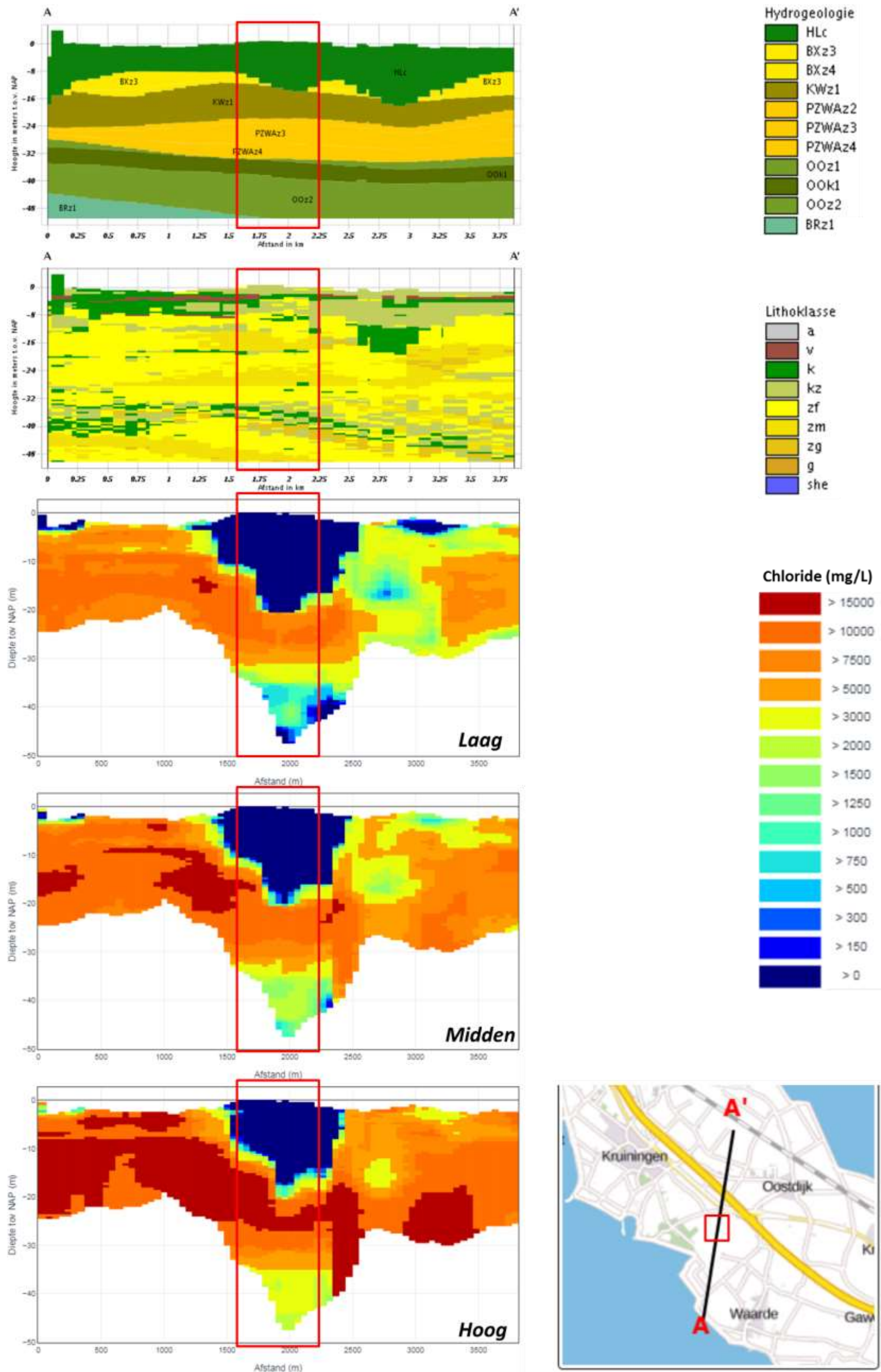
Formatie is zout met concentraties > 5.000 mg/L Cl<sup>-</sup>. Onder de Oosterhout klei 1 komt men volgens FRESHEM data brak of zelfs zoet grondwater tegen.

Tabel 2-1: Schematisatie van de ondergrond tot 138 m -NAP ter plaatse van het projectgebied in Kruiningen, bepaald aan de hand van REGIS II v2.2, met daarin de horizontale en verticale hydraulische doorlatendheden (k<sub>h</sub> en k<sub>v</sub>), en het doorlaatvermogen van goed doorlatende lagen (kD) en de weerstand van slecht doorlatende lagen (c). De weerstand van de Holocene deklaag is ingeschat op basis van het NHI ([data.nhi.nu](http://data.nhi.nu)).

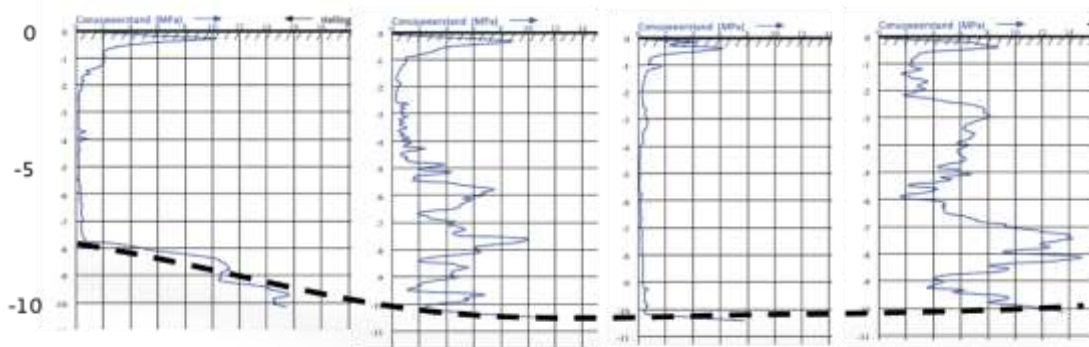
	Formatie	Sub -	Top m NAP	Basis m NAP	Dikte M	k <sub>h</sub> m/d	kD m <sup>2</sup> /d	k <sub>v</sub> m/d	C D
0	Holoceen	-	0,74	-13,9	14,6				53
-20	Koewacht	zand 1	-13,9	-21,6	7,8	10,3	80		
	Peize- Waalre	zand 2	-21,6	-22,9	1,2	6,3	7,8		
		zand 3	-22,9	-29,3	6,4	6,1	38,9		
		zand 4	-29,3	-33,7	4,4	6,6	29,3		
-40	Oosterhout	zand 1	-33,7	-34,5	0,8	3,7	2,9		
		klei 1	-34,5	-39,4	4,9	0,05		0,005	905
		zand 2	-39,4	-52	12,4	8,7	108		
-60	Breda								
-80		zand 1	-52	-104	52	4,5	236		
-100	Rupel								
-120		klei 1	-104	-138	34	10 <sup>-4</sup>		10 <sup>-6</sup>	34*10 <sup>6</sup>



Figuur 2-1: Geologische dwarsdoorsnede (west-oost) door het projectgebied (rode kaders). Boven: geologische eenheden (REGIS II v2.2), midden: lithoklassen (GeoTOP v1.3), onder: concentratieprofielen van chloride (mg/L) in grondwater (FRESHM Zeeland). De chlorideconcentraties 'laag', 'midden' en 'hoog', geven de statistische onzekerheid van de chlorideconcentratie weer.



Figuur 2-2: Geologische dwarsdoorsnede (zuid-noord) door het projectgebied (rode kaders). Boven: geologische eenheden (REGIS II v2.2), midden: lithoklassen (GeoTOP v1.3), onder: concentratieprofielen van chloride (mg/L) in grondwater (FRESHEM Zeeland). De chlorideconcentraties 'laag', 'midden' en 'hoog', geven de statistische onzekerheid van de chlorideconcentratie weer.



Figuur 2-3: Resultaten sonderingen 2017 (zie Bijlage I). Vermoedelijke overgang naar zandlaag onder kleiige deklaag is aangegeven met een stippellijn.

### 2.3 Grondwaterstand

Voor zeven filters van peilbuis B49C0038 zijn de stijghoogtes en statistieken weergegeven in Figuur 2-4. Deze peilbuis staat zo'n 500 meter ten zuiden van het centrum van het projectgebied en heeft een maaiveldhoogte van 0,30 m -NAP. De stijghoogtes die zijn gemeten in peilbuisfilters 1 en 2 komen goed overeen. Dit laat zien dat er weinig weerstand bestaat tussen 14 en 21 m -NAP. De stijghoogte in peilbuisfilter 3 is ietwat hoger dan die in 1 en 2, wat duidt op weerstand en een lichte kwel tussen 29 en 22 m -NAP. Deze weerstand zou het resultaat kunnen zijn van de aanwezigheid van een lokale kleilaag aan de onderkant van de Koewacht Formatie (Figuur 2-2). Dit zou tevens een verklaring kunnen zijn voor de scherpe begrenzing van de zoetwatervoorraad, beschreven in 2.2. Op basis van de concentratieprofielen van chloride in Figuur 2-1 en Figuur 2-2 kan worden geconcludeerd dat de lichte kwel zout is. De verklaarde varianties van de stijghoogtes in peilbuisfilters 1, 2, en 3 zijn allen hoger dan 75%, wat betekent dat neerslag en verdamping de meeste invloed hebben op de variantie van de stijghoogte tot minimaal 30 m -NAP.

De gemeten stijghoogtes in filters 4, 5, 6, en 7 zijn allen hoger dan die in filters 1, 2, en 3. De verklaarde variantie voor deze vier filters is tevens lager dan 35%. De variantie van de stijghoogte beneden 40 m -NAP wordt dus grotendeels verklaard door andere invloeden dan neerslag en verdamping. Op basis van deze gegevens kan worden geconcludeerd dat er tussen 40 en 30 m -NAP een flinke weerstand en een kwelstroom bestaat. Deze weerstand komt overeen met de aanwezigheid van de Oosterhout klei 1 op de projectlocatie op een diepte van 34,5 tot 39,4 m -NAP (Tabel 2.1). Op basis van de concentratieprofielen van chloride in Figuur 2-1 en Figuur 2-2 kan worden geconcludeerd dat de kwel brak is.

### 2.4 Grondwaterstroming

In het eerste watervoerend pakket stroomt het grondwater vanuit het zuidwesten het projectgebied in (Figuur 2-5). De grondwaterstroming ter plaatse van het projectgebied is voornamelijk gericht naar het noorden, en buigt af naar het noordwesten. Ter plekke van de hoger gelegen projectlocatie is een zadelpunt zichtbaar, waardoor stroming van het grondwater beperkt zal zijn. De sterkte van de grondwaterstroming ter plaatse van het projectgebied wordt op basis van de isohypsenkaarten geschat op 5 tot 15 m/jaar.

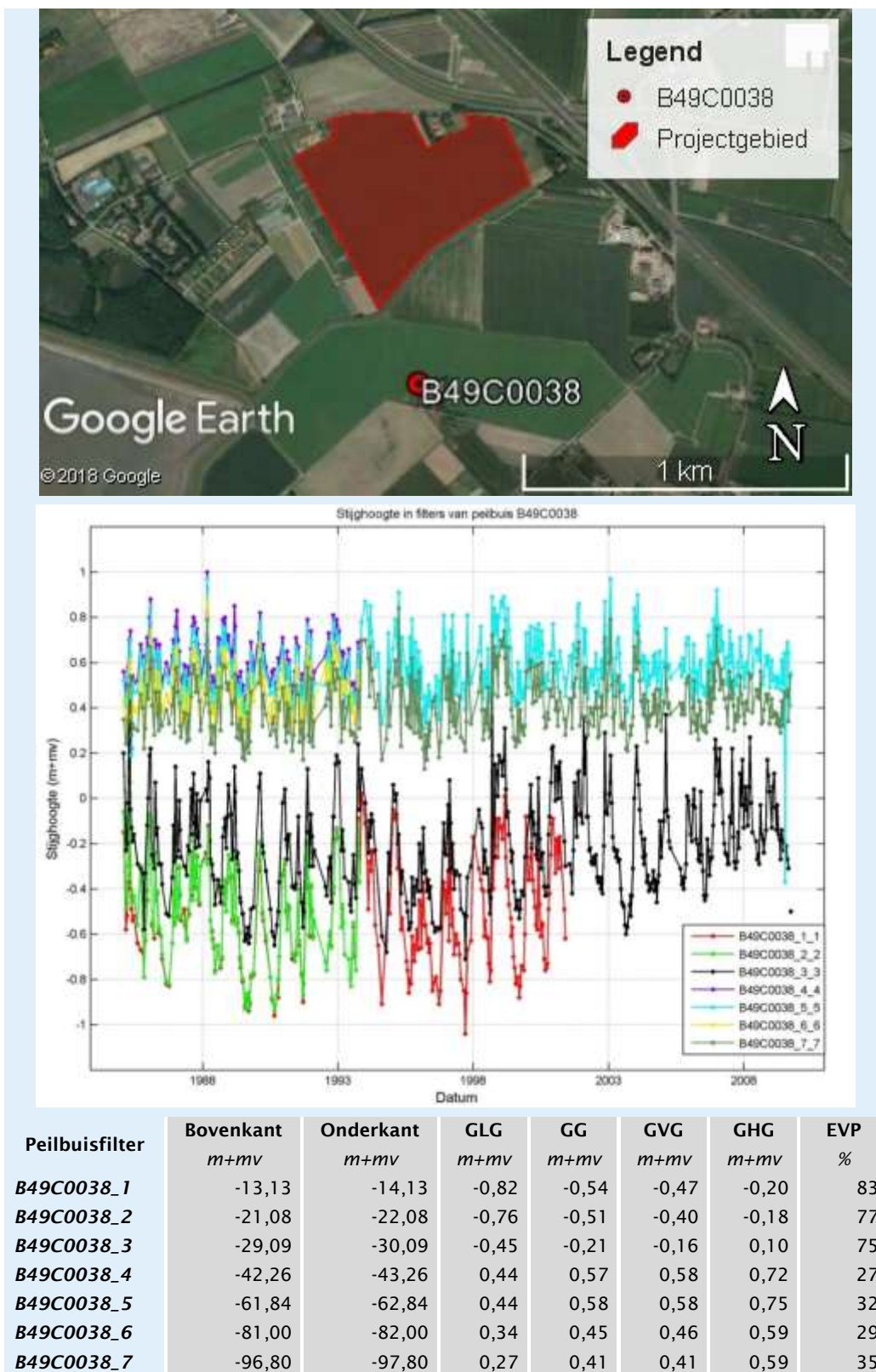
## 2.5 Grondwaterkwaliteit

Rondom het projectgebied zijn geen meetpunten aanwezig waar meer van de grondwaterkwaliteit is gemeten dan enkel chloride.

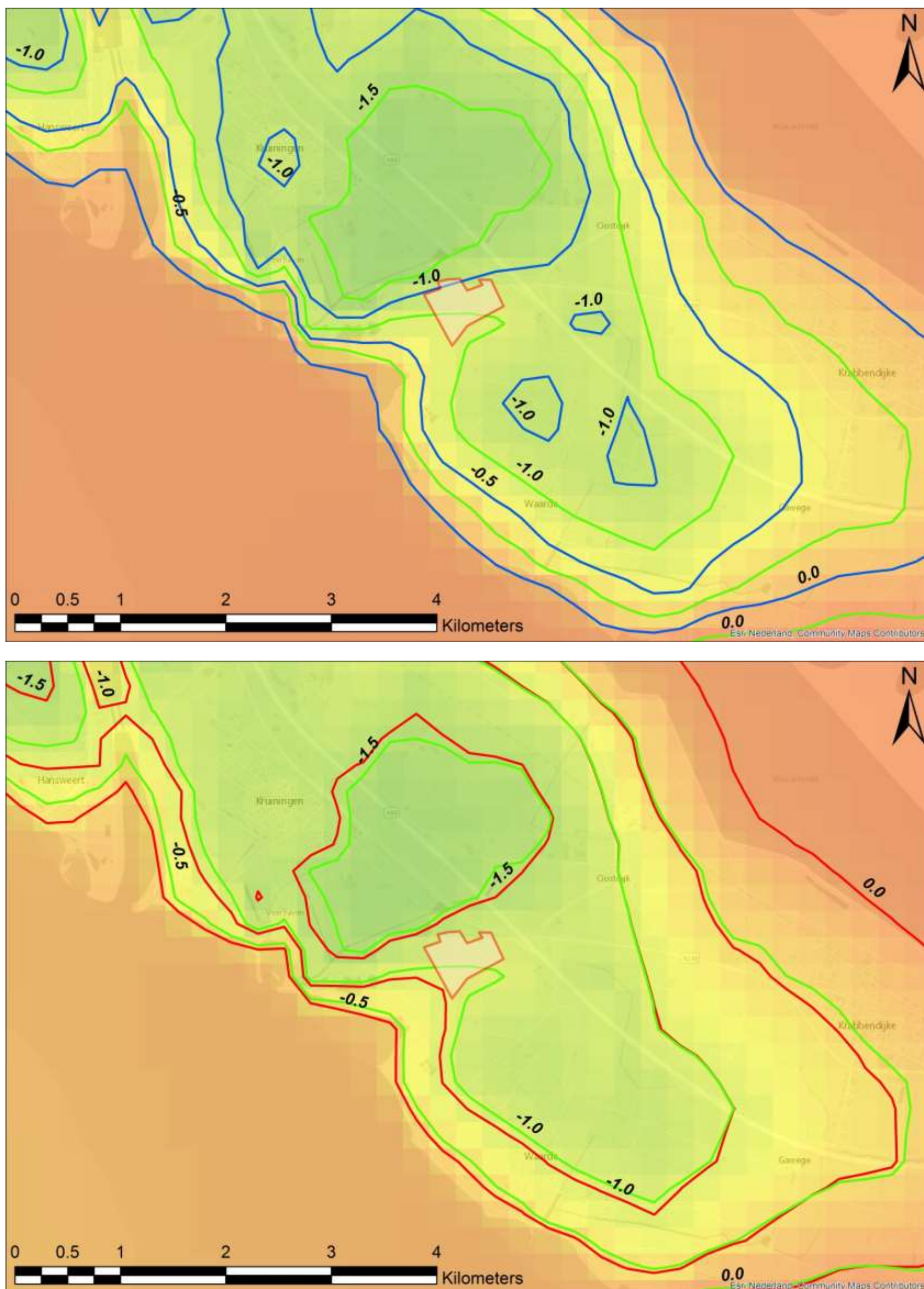
## 2.6 Overige grondwatergebruikers

Er zijn enkele grondwateronttrekkingen aanwezig in de omgeving van het projectgebied (Figuur 2-6 en Figuur 2-7). De onttrekkingen in Figuur 2-6 zijn meer dan 2 km verwijderd van het projectgebied. De verwachting is dat het beoogde waterbergingssysteem daardoor niet of nauwelijks zal interfereren met deze onttrekkingen. De onttrekking in Figuur 2-7 vereist wel aandacht, aangezien deze slechts 500 meter is verwijderd van de zoetwaterlens. Het betreft een inrichting (LGR-nummer 53279) voor het onttrekken van grondwater ten behoeve van beregening/bevloeiing. De inrichting is uitgevoerd door middel van twee circa 100 meter lange drains die op een diepte van circa 6 meter onder maaiveld zijn aangelegd in het perceel kadastraal bekend KNG - O - 774 (gemeente Kruiningen, oost, nr. 776). De te onttrekken hoeveelheid grondwater bedraagt maximaal 30 m<sup>3</sup> per uur, 3000 m<sup>3</sup> per kwartaal en 8000 m<sup>3</sup> per jaar. Het binnendijkse natuurgebied en de bijbehorende bufferzone overlappen niet met het projectgebied (Figuur 2-7).





Figuur 2-4: Locatie van peilbuis B49C0038 ten opzichte van het projectgebied (zoute) stijghoogte gemeten in de verschillende filters. De hoogte van het maaiveld is gelijk aan -0,30 mNAP. EVP is het percentage van de variatie in de grondwaterstand dat verklaard kan worden door neerslag en verdamping.



Figuur 2-5: Isohypsens in het watervoerend pakket onder de Holocene deklaag rondom het projectgebied (rood omkaderd) berekend voor 1 april 2016 (boven: blauwe isohypsens) en voor 1 oktober 2016 (onder: rode isohypsens). De groene isohypsens zijn de NHI-isohypsens, die het gemiddelde ruimtelijke patroon van de stijghoogte weergeven.



Figuur 2-6: Grondwateronttrekkingen (blauwe stippen) rondom het projectgebied (rode kader).



Figuur 2-7: Grondwateronttrekkingen geregistreerd in het Landelijk Grondwater Register (LGR) binnen een straal van 2 km van het projectgebied (Aangeleverd door Waterschap Scheldestromen). Het binnendijkse natuurgebied en de bijbehorende bufferzone zijn ook weergegeven in de figuur.

## 3 Situatieschets Meulwaeter

### 3.1 Percelen

Het centrale perceel waaronder de zoetwaterbel is gesitueerd heeft een oppervlakte van 25 ha. Aangrenzend liggen percelen van tezamen ruim 50 ha, die relatief gemakkelijk zouden kunnen worden aangesloten op het irrigatiesysteem van het centrale perceel. Daarnaast is er nog ruim 40 ha wat verder van het centrale perceel af ligt, maar waar water eventueel via slangen door de sloten naartoe kan worden gebracht. Tenslotte is er nog een perceel van 20 ha dat te ver van het centrale perceel is verwijderd om in deze studie te behandelen.

### 3.2 Bouwplan

Het huidige bouwplan voor de landbouw van Meulwaeter is opgenomen in Tabel 3-1. Luzerne en grasklaver blijven veelal 3 jaar op hetzelfde perceel liggen. De 4 daarop volgende jaren zijn voor peen, pastinaak, cichorei, rode bieten, sperziebonen, suikermaïs, aardappelen, en knolselderij. Wanneer er voldoende zoetwater beschikbaar is, dan zouden spinazie, kolen e.d. ook tot de mogelijkheden behoren.

Tabel 3-1: **Bouwplan voor biodynamisch landbouwbedrijf Meulwaeter. De totale oppervlakte van de percelen van Meulwaeter bedraagt ca. 135 ha**

Jaar	Gewas	Oppervlak
1	Luzerne en grasklaver	3/7 van
2		totaal:
3		ca. 58 ha
4	Fijnzadige gewassen: peen, pastinaak, cichorei, rode biet	2/7 van
5		totaal: ca. 39 ha
6	Aardappelen en knolselderij	1/7 van totaal: ca. 19 ha
7	Industriegroenten: sperziebonen, suikermaïs, spinazie, kolen	1/7 van totaal: ca. 19 ha

### 3.3 Zouttolerantie gewassen

De zouttoleranties van bovenstaande gewassen zijn bekend vanuit de literatuuronderzoeken van Stuyt et al. (2016) en Van Dam et al. (2007). Stuyt et al. (2016) hebben geïnventariseerd wat de ondergrenzen en bovengrenzen van de maximale chlorideconcentraties in beregeningswater zijn voor verschillende gewassen. Van Dam et al. (2007) hebben naast de maximaal toelaatbare chlorideconcentratie in gietwater ook dat van bodemvocht onderzocht. Hoewel er mogelijk in de toekomst ook andere gewassen verbouwd zullen worden dan die zijn opgenomen in het bouwplan, geeft Tabel 3-2 een goed beeld van de kwaliteit waar het irrigatiewater aan moet voldoen.

Voor luzerne en grasklaver zijn de waterkwaliteitseisen niet streng, en kan er zelfs met brak-zout water worden geïrrigeerd (Tabel 3-2). De door Stuyt et al. (2016) gerapporteerde waterkwaliteitseisen zijn wat strenger voor witlof, rode bieten, aardappelen, knolselderij, spinazie, peen, en kolen (ca. <750 mg/L Cl), hoewel ook deze toelaatbare concentraties vrij hoog zijn. Van Dam et al. (2007) rapporteerden voor deze gewassen een lagere toelaatbare concentratie van ca. 200 mg/L Cl. Bij het verbouwen van sperziebonen moet rekening worden gehouden met strengere waterkwaliteitseisen van ca. 100 mg/L Cl voor gietwater (Van Dam et al., 2007).

Kortstondig (bijvoorbeeld bij aanplant) zullen hogere concentraties waarschijnlijk acceptabel zijn, zeker wanneer de afweging gemaakt moet worden met verdroging. In elk geval geldt dat de waterkwaliteitseisen bij irrigatie via drains minder streng zijn dan bij beregening, doordat minder indikking van water plaatsvindt als gevolg van verdamping. Dit blijkt tevens uit de toelaatbare hogere chlorideconcentraties in bodemvocht dan in gietwater (Van Dam et al., 2007). Voor irrigatie via drains is de grens voor het bodemvocht daarom gangbaarder en komt de toelaatbare concentratie op zo'n 400 tot 1000 mg/L Cl. Deze grens (400 mg/L Cl) lijkt daarom een hanteerbare grens voor het systeem tijdens terugwinning.

Tabel 3-2: Zouttolerantie van de gewassen die zijn opgenomen in het huidige bouwplan van Meulwaeter. b.i. staat voor betrouwbaarheidsinterval.

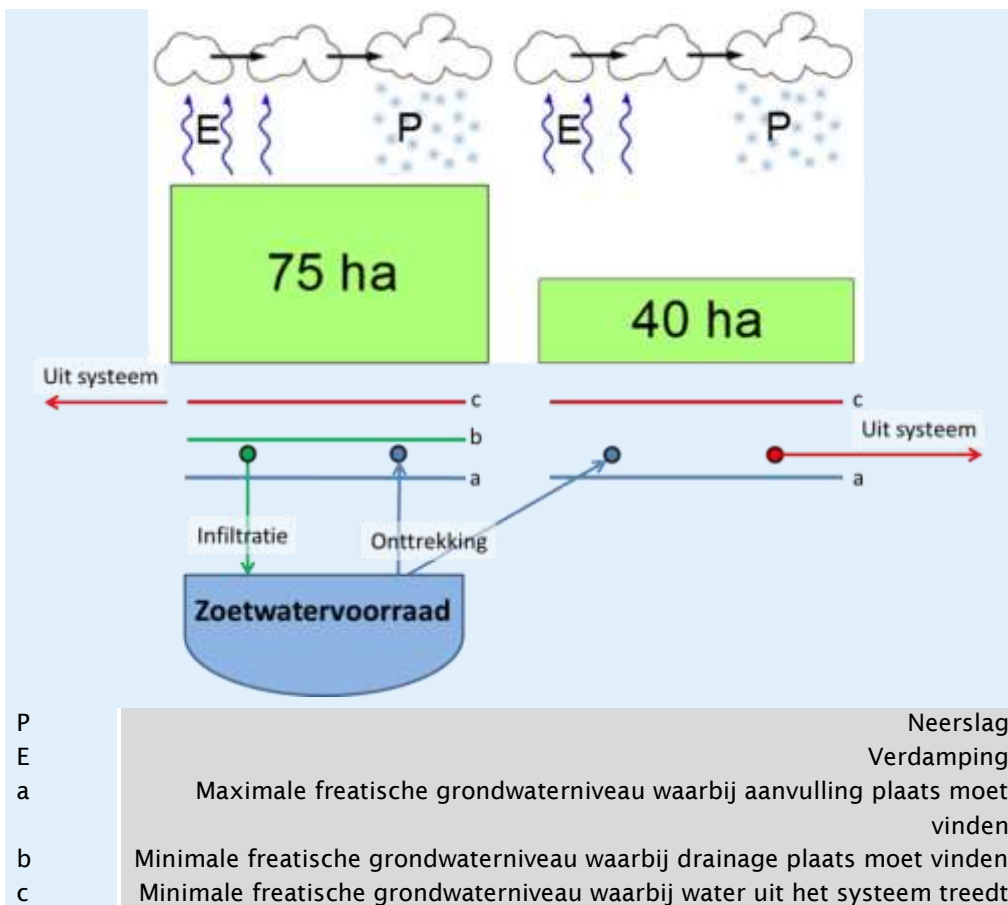
<i>mg/L chloride</i>	<b>Stuyt et al. (2016)</b>			<b>Van Dam et al. (2007)</b>	
	<i>Concentratie in beregeningswater</i>			<i>Concentratie in</i>	
	<i>Ondergrens</i>	<i>Gemiddeld</i>	<i>Bovengrens</i>	<i>Gietwater</i>	<i>Bodemvocht</i>
	<i>40% b.i.</i>		<i>40% b.i.</i>		
<i>Luzerne / alfalfa</i>	10000	10000	10000		
<i>Grasland</i>	650	2055	3475	962	3606
<i>Peen</i>	800	868	950	101	378
<i>Pastinaak</i>					
<i>Cichorei / witlof</i>	550	963	1140		
<i>Rode bieten</i>	1050	1093	1150	619	2321
<i>Sperziebonen</i>				101	378
<i>Suikermaïs</i>				202	756
<i>Aardappelen</i>	500	838	1200	202	756
<i>Knolselderij</i>	675	799	950	250	936
<i>Spinazie</i>	750	919	1100	250	936
<i>Kolen</i>	1025	1093	1150	217	815

# 4 Waterbalans

Met de situatieschets in hoofdstuk 3 is de waterbalans ingeschat. De reservoirs en fluxen die zijn gebruikt in de waterbalans zijn weergegeven in Tabel 4-1. Figuur 4-1 laat zien hoe de waterbalans in zijn geheel is opgezet en hoe de fluxen zijn verbonden met de verschillende reservoirs. De bijbehorende randvoorwaarden en aannames worden in de volgende secties nader besproken.

Tabel 4-1: Reservoirs en fluxen die zijn gebruikt in de waterbalans

Reservoirs	Fluxen
Grondwater onder percelen 75 ha	Neerslag
Grondwater onder perceel 40 ha	Potentiële verdamping
Ondergrondse zoetwatervoorraad in bel	Infiltratie naar zoetwatervoorraad
	Onttrekking uit zoetwatervoorraad
	Afstroming/uittreding van grondwater



Figuur 4-1: Overzicht van de waterbalans voor de percelen van Meulwaeter.

#### 4.1 Neerslag en verdamping

De neerslag en referentieverdamping die zijn waargenomen op de KNMI-stations te Vlissingen, Westdorpe, en Wilhelminadorp, zijn op basis van afstand geïnterpoleerd voor Kruiningen (Figuur 4-2). Met de referentieverdamping en een zogenaamde gewasfactor kan de potentiële verdamping worden berekend. Feddes (1987) heeft voor een aantal gewassoorten de gewasfactor bepaald (Figuur 4-3). Met het bouwplan van Meulwaeter (Figuur 4-3) is vervolgens bepaald wat de gewasfactoren zijn die gelden voor de percelen van Meulwaeter (Tabel 4-2). Hierdoor wordt het waterverbruik van de gewassen die op de percelen zullen worden verbouwd meegenomen. Voor de percelen die tussentijds braak liggen is aangenomen dat de potentiële verdamping gelijk is aan de referentieverdamping, m.a.w. de gewasfactor is gelijk aan 1.

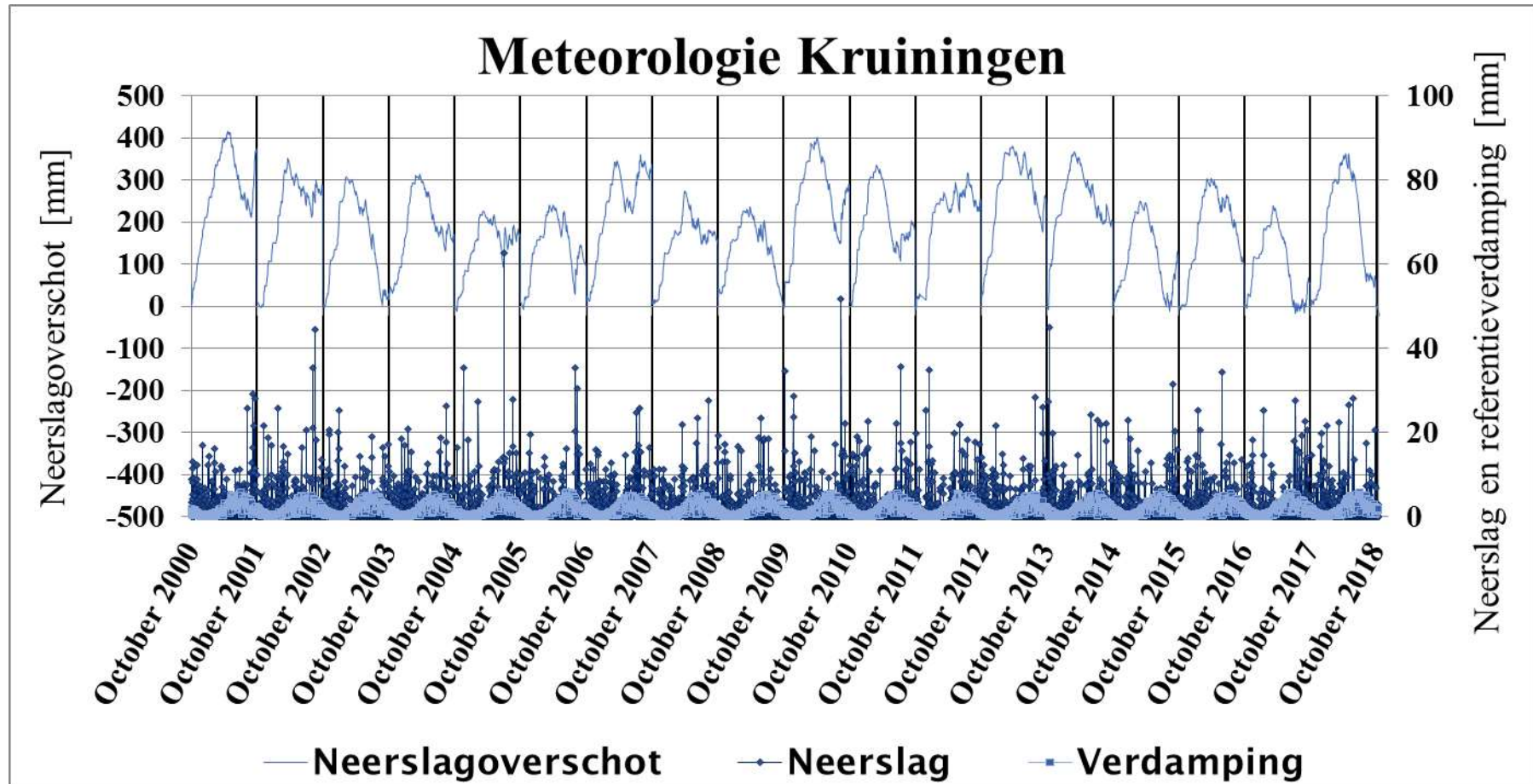
#### 4.2 Infiltratie en onttrekking naar/vanuit de ondergrondse zoetwatervoorraad

Het netto neerslagoverschot (neerslag – potentiële verdamping) zorgt voor een aanvulling van het freatische grondwater onder de percelen van Meulwaeter. In het waterbalansmodel is aangenomen dat drainage via drains plaatsvindt wanneer het freatische grondwater onder de percelen die water kunnen leveren aan een ondergronds waterbergingsstelsel (**75 ha**) boven een bepaald niveau (***b***) komt. Het gedraineerde water wordt vervolgens geïnfiltreerd en opgeslagen in de zoetwatervoorraad in een dieper pakket. De zoetwatervoorraad is in het waterbalansmodel gemaximeerd op een bepaald volume, m.a.w. infiltratie van drainagewater vindt niet plaats als de zoetwatervoorraad groter is dan dit volume. Aangenomen is dat de hoeveelheid wegzijging door de deklaag relatief klein is.

Wanneer het neerslagoverschot in het groeiseizoen (1 april – 30 september) op de percelen van Meulwaeter (**115 ha**) negatief is en de freatische grondwaterstand zakt tot een bepaald niveau (***a***) of lager, start onttrekking van water uit de zoetwatervoorraad. Het freatische grondwater niveau ***a*** wordt gebruikt als referentieniveau. Aangenomen is dat irrigatie van dit water op de percelen (**115 ha**) plaatsvindt via de drains (subirrigatie) en het freatische grondwater dus direct aanvult. De zoetwatervoorraad is in het waterbalansmodel begrensd op het aangenomen startvolume van **50.000 m<sup>3</sup>**, m.a.w. onttrekking vanuit de zoetwatervoorraad vindt niet plaats als de zoetwatervoorraad een grootte heeft van minder dan **50.000 m<sup>3</sup>**. Hierdoor zal de zoetwatervoorraad duurzaam worden benut. Niet meegenomen is dat door een structureel hogere grondwaterstand in de zomer er meer infiltratie en dus verdikking van de diepe zoetwaterlens zou kunnen plaatsvinden. Het freatische grondwater en de ondergrondse zoetwatervoorraad in de bel zijn namelijk als twee losse reservoirs beschouwd, die enkel via het ondergronds waterbergingsstelsel zijn verbonden.

Wanneer het freatische grondwater op één van de percelen (**115 ha**) een bepaald maximum niveau (***c***) bereikt, treedt het grondwater uit het systeem door afstroming via oppervlaktewater en is het niet meer beschikbaar voor de drains of voor infiltratie naar de zoetwatervoorraad. Dit zal doorgaans worden ingebouwd om natschade te voorkomen.





Figuur 4-2: Neerslag, referentieverdamping, en neerslagoverschot in Kruiningen [mm]. Het neerslagoverschot is weergegeven per hydrologisch jaar (1 oktober - 30 september) en start op 1 oktober van ieder jaar weer op 0 mm.



### 4.3 Scenario's

Verschillende scenario's zijn doorgerekend met het waterbalansmodel (Tabel 4-3). Het referentiescenario (zonder ondergrondse waterberging) en twee scenario's met ondergrondse waterberging worden nader toegelicht in de volgende secties. De overige scenario's staan beschreven in 0, welke zijn uitgevoerd als gevoeligheidsanalyse.

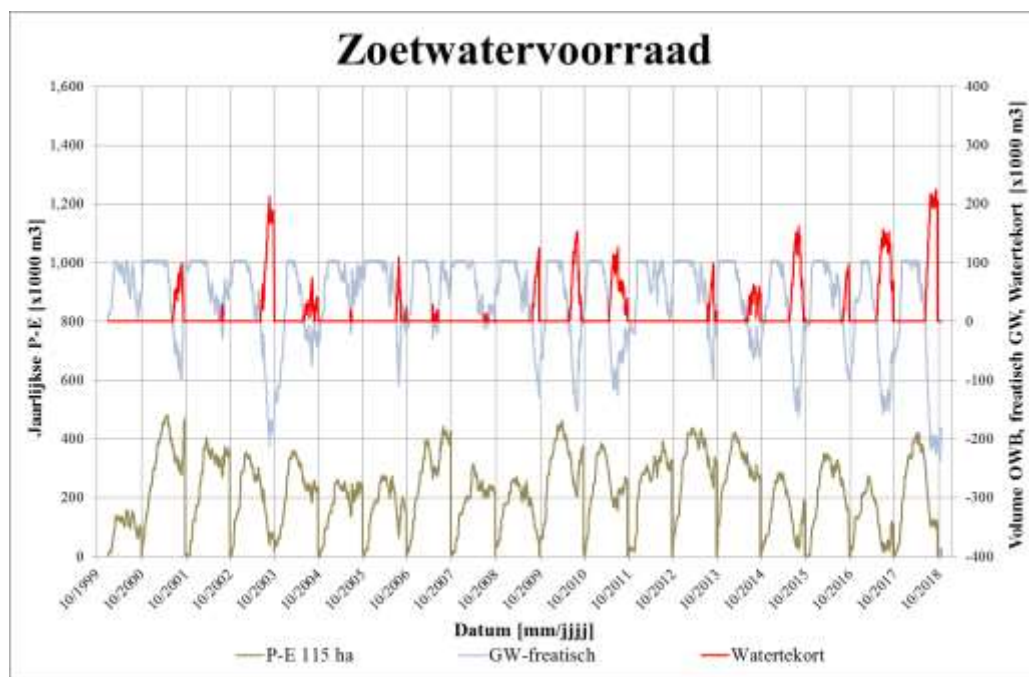
Van belang is om te onderkennen dat deze waterbalans een sterk vereenvoudigde aanpak is om tot een inschatting van de bedrijfsvoering van de ondergrondse opslag te komen en meer inzicht te krijgen in de te verwachten dynamiek.

Tabel 4-3: Scenario's die zijn doorgerekend in de waterbalans. a, b, en c corresponderen met de verschillende sturingsniveaus van het freatische grondwater, I = infiltratie, en O = onttrekking.

		Scenario							Watertekort				
	Figuur	Randvoorwaarden			OWB	Debiet		Ondergrondse zoetwatervoorraad in bel					
		a m	b m	c m		I m <sup>3</sup> /u	O m <sup>3</sup> /u	Minimale volume m <sup>3</sup>	Maximale volume m <sup>3</sup>	Maximaal		Gemiddeld	
										m <sup>3</sup> per groeiseizoen	m <sup>3</sup> per dag	m <sup>3</sup> per groeiseizoen	m <sup>3</sup> per dag
<b>Ref</b>	Figuur 4-4	0	-	0.3	Nee	-	-	-	-	225.315	1.231	99.864	546
<b>1</b>	Figuur 4-5	0	0.1	0.3	Ja	50	100	50.000	300.000	106.733	583	26.889	147
<b>2</b>	Figuur 4-7	0	0.1	0.3	Ja	50	200	50.000	300.000	14.206	78	4.960	27
<b>3</b>	Bijlage II.1	-	-	0.2	Nee	-	-	-	-	259.815	1.420	134.162	733
<b>4</b>	Bijlage II.2	0	0.1	0.2	Ja	50	100	50.000	300.000	99.705	545	29.522	161
<b>5</b>	Bijlage II.3	0	0.1	0.2	Ja	50	200	50.000	300.000	64.686	353	7.413	41
<b>6</b>	Bijlage II.4	0	0.1	0.2	Ja	50	200	50.000	400.000	9.096	50	4.219	23

### 4.3.1 Referentiescenario: zonder ondergrondse waterberging

In het referentiescenario is er geen ondergrondse waterberging (OWB) en zijn enkel het neerslagoverschot en het freatisch grondwaterniveau  $c$  sturend. Voor niveau  $c$  is de waarde 0.3 m gebruikt. Voor  $a$  is 0.0 m aangehouden. Dit betekent dat in het referentiescenario aan het begin van het groeiseizoen met de peilgestuurde drainage al wordt gezorgd voor een hoge grondwaterstand, welke vervolgens 0.3 m mag uitzakken. De resultaten voor het referentiescenario zijn opgenomen in Figuur 4-4. De maximale en gemiddelde tekorten zijn tevens opgenomen in de rechterkolommen van Tabel 4-3. Zonder ondergrondse waterberging is er ieder jaar in het groeiseizoen een tekort aan water, gemiddeld circa 100.000 m<sup>3</sup>. In het groeiseizoen van droge jaren (2003 en 2018) kan dit watertekort oplopen tot circa 225.000 m<sup>3</sup>. Dit is bijna 200 mm/jaar.



Figuur 4-4: Tekort aan water in het groeiseizoen zonder opslag en aanvulling via ondergrondse waterberging. De zoetwatervoorraad in het freatische grondwater en het neerslagoverschot (P-E) voor een hydrologisch jaar (1 oktober - 30 september) zijn tevens weergegeven.  $c = 0,3$  m. Het neerslagoverschot start op 1 oktober van ieder jaar weer op 0 mm.

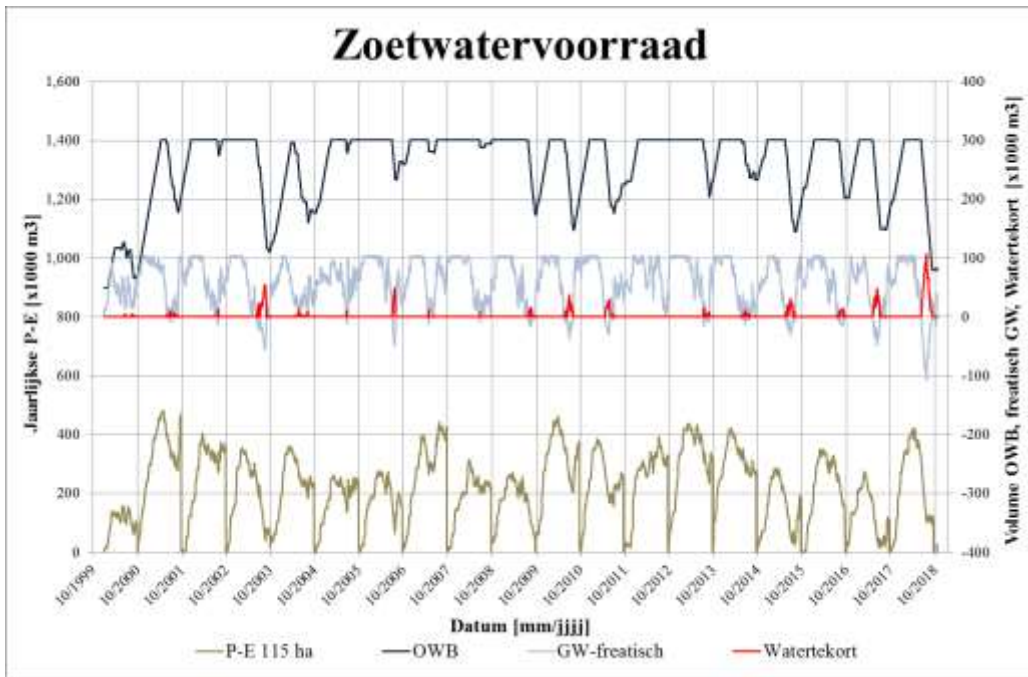
### 4.3.2 Scenario 1: met ondergrondse waterberging

In scenario 1 zijn dezelfde randvoorwaarden gebruikt als in het referentiescenario, behalve dat nu een ondergrondse waterberging is toegevoegd aan het systeem. Onttrekking (*O*) en infiltratie (*I*) zijn in dat scenario gelimiteerd op een debiet van respectievelijk **100 m<sup>3</sup>/uur** en **50 m<sup>3</sup>/uur**, wat aannemelijk is voor een dergelijk systeem. De sturingsniveaus *a* en *b* van het freatische grondwater bedragen respectievelijk 0 m en 0.1 m, waardoor de drains het freatische grondwater niveau binnen 10 cm kunnen sturen. De **minimale** en **maximale volumes** van de ondergrondse zoetwatervoorraad zijn gelimiteerd op respectievelijk **50.000 m<sup>3</sup>** en **300.000 m<sup>3</sup>**. Het maximaal mogelijke volume is in dit stadium van het onderzoek onbekend, maar wordt in de werkelijkheid gelimiteerd door de aanwezige grondwaterstroming en door menging met brak of zout grondwater. Met behulp van een grondwatermodel en een veldproef kan het werkelijke maximale volume in de toekomst worden ingeschat. Wanneer deze ondergrondse waterberging is gerealiseerd, reduceert het watertekort duidelijk tot maximaal 107.000 m<sup>3</sup> (Figuur 4-5 en Tabel 4-3).

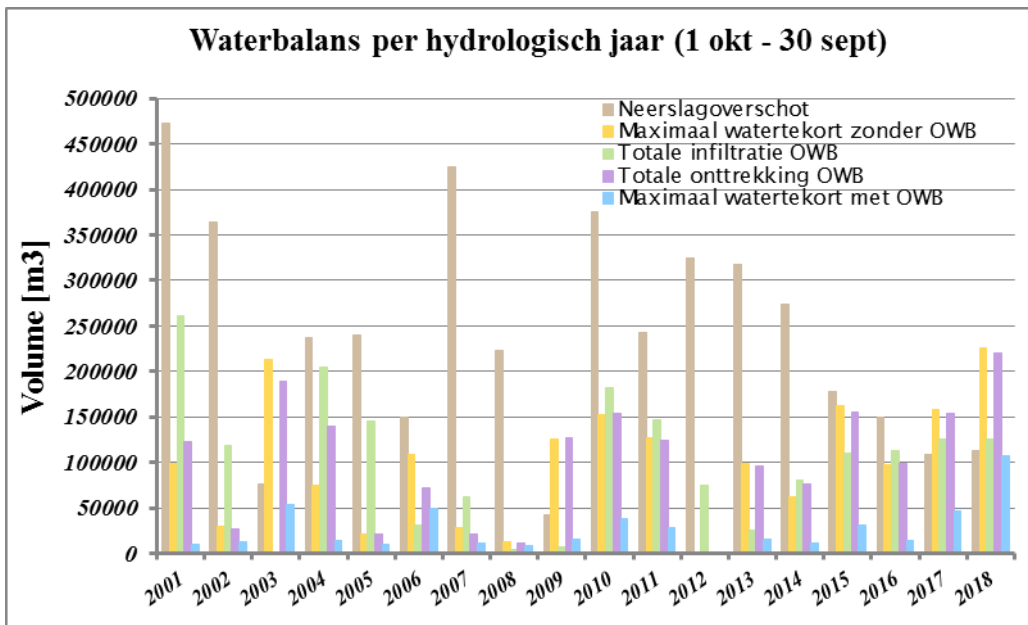
Het tekort is in dat geval met name significant in extreem droge jaren zoals 2003 en 2018. Het gemiddelde watertekort bedraagt circa 27.000 m<sup>3</sup>, wat ongeveer een kwart is van het tekort zonder ondergrondse waterberging. De limiterende factor voor het tekort bij deze ondergrondse waterberging is met name het onttrekkingsdebiet. Er zijn namelijk ook jaren met tekorten terwijl de ondergrondse zoetwatervoorraad niet volledig is benut voor het aanvullen van de irrigatievraag, m.a.w. het minimale volume is niet bereikt.

Het neerslagoverschot, het maximale watertekort zonder ondergrondse waterberging (OWB), het totale infiltratievolume bij ondergrondse waterberging, het totale onttrekkingsvolume bij ondergrondse waterberging, en het maximale watertekort met ondergrondse waterberging zijn voor dit scenario per hydrologisch jaar (1 oktober – 30 september) weergegeven in Figuur 4-6. Hieruit blijkt tevens dat ondergrondse waterberging een grote bijdrage kan leveren aan de watervoorziening van Meulwaeter.

Opvallend is dat in een droog jaar meer dan 225.000 m<sup>3</sup> (het aangenomen tekort) moet worden aangevuld. Dit is het gevolg van de keuze om al bij 0.1 m (*b*) m te infiltreren en te verlagen naar 0 m (*a*). Aan het begin van het groeiseizoen is er daardoor een achterstand van 0.3 m verzadigd bodemvolume ten opzichte van het referentie scenario. Er moet daardoor al eerder begonnen worden met onttrekken om het grondwater niet verder uit te laten zakken. Slimmer kan het zijn om aan het begin van het zomerseizoen *a* en *b* te verhogen richting *c*, zodat er minder water vanuit de ondergrondse opslag hoeft te komen.



Figuur 4-5: Tekort aan water in het groeiseizoen met opslag en aanvulling via ondergrondse waterberging (scenario 1). De zoetwatervoorraad in het freatische grondwater en in de ondergrondse waterberging, en het neerslagoverschot (P-E) voor een hydrologisch jaar (1 oktober – 30 september) zijn tevens weergegeven.  $a = 0\text{ m}$ ,  $b = 0,1\text{ m}$ ,  $c = 0,3\text{ m}$ ,  $l = 50\text{ m}^3/\text{u}$ ,  $O = 100\text{ m}^3/\text{u}$ . Maximale ondergrondse zoetwatervoorraad =  $300.000\text{ m}^3$ . Het neerslagoverschot start op 1 oktober van ieder jaar weer op 0 mm.



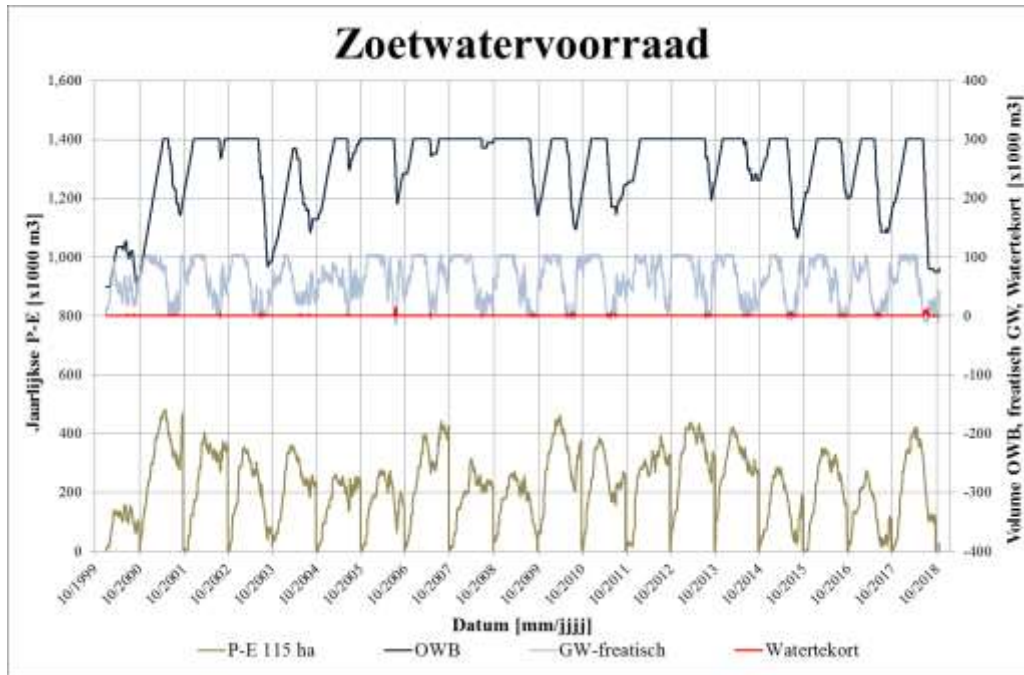
Figuur 4-6: Waterbalans per hydrologisch jaar (1 oktober – 30 september) voor scenario 1.

### 4.3.3 Scenario 2: hoger onttrekkingsdebiet

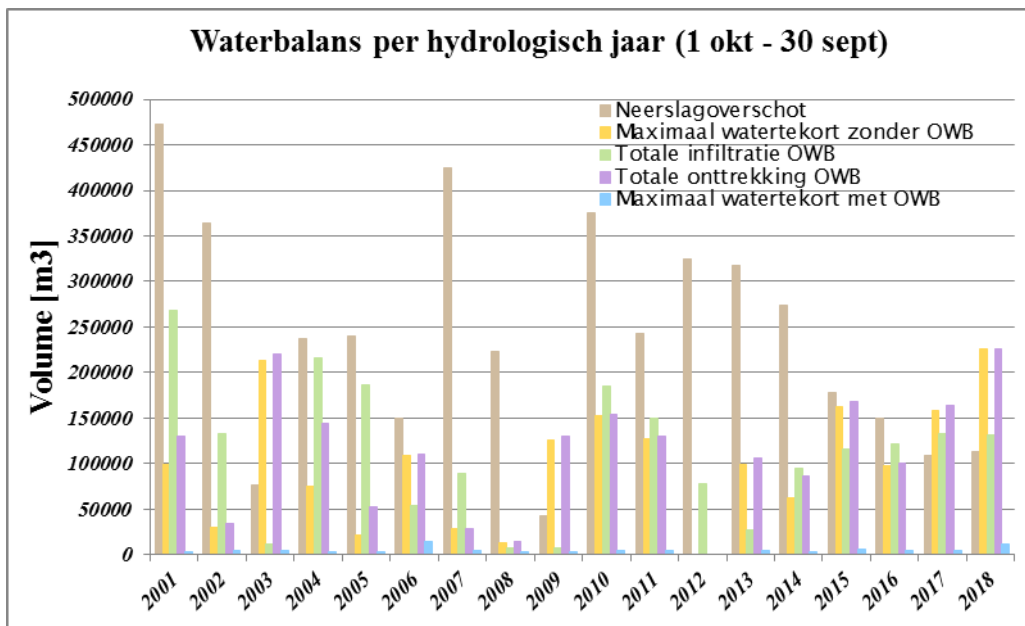
In scenario 2 (Figuur 4-7) wordt duidelijk dat bij een hoger onttrekkingsdebiet ( $O = 200 \text{ m}^3/\text{uur}$ ), de jaarlijkse watertekorten sterk reduceren tot maximaal ca. 14.000  $\text{m}^3/\text{groei}$ seizoen. Gemiddeld is er in een groeiseizoen 27  $\text{m}^3/\text{dag}$  extra water benodigd om te kunnen voldoen aan de watervraag. Aangezien de ondergrondse zoetwatervoorraad in de bel ook in dit scenario zijn minimale volume niet bereikt, blijft het onttrekkingsdebiet de limiterende factor voor de watertekorten.

Het neerslagoverschot, het maximale watertekort zonder ondergrondse waterberging (OWB), het totale infiltratievolume bij ondergrondse waterberging, het totale onttrekkingsvolume bij ondergrondse waterberging, en het maximale watertekort met ondergrondse waterberging zijn voor dit scenario per hydrologisch jaar (1 oktober – 30 september) weergegeven in Figuur 4-8. Hieruit blijkt tevens dat ondergrondse waterberging een grote bijdrage kan leveren aan de watervoorziening van Meulwaeter, en dat een hoger onttrekkingsdebiet het watertekort verder kan reduceren.

Het gekozen infiltratiedebiet is hoog genoeg om de zoetwaterbel na een droog jaar weer vlot aan te vullen, zoals te zien is in 2003/2004. Dit is ook nodig om een daaropvolgende droge zomer aan te kunnen.



Figuur 4-7: Tekort aan water in het groeiseizoen met opslag en aanvulling via ondergrondse waterberging (scenario 2). De zoetwatervoorraad in het freatische grondwater en in de ondergrondse waterberging, en het neerslagoverschot (P-E) voor een hydrologisch jaar (1 oktober – 30 september) zijn tevens weergegeven.  $a = 0\text{ m}$ ,  $b = 0,1\text{ m}$ ,  $c = 0,3\text{ m}$ ,  $I = 50\text{ m}^3/\text{u}$ ,  $O = 200\text{ m}^3/\text{u}$ . Maximale ondergrondse zoetwatervoorraad = 300.000 m<sup>3</sup>. Het neerslagoverschot start op 1 oktober van ieder jaar weer op 0 mm.



Figuur 4-8: Waterbalans per hydrologisch jaar (1 oktober – 30 september) voor scenario 2.



## 5 Modelleringsverschillende putconfiguraties

### 5.1 Aanpak: belangrijkste elementen

#### 5.1.1 Modelcode en celgroottes

Er is gebruik gemaakt van het op MODFLOW gebaseerde SEAWAT (versie 4) om rekening te houden met het effect van dichtheidsverschillen op de grondwaterstroming.

De celgrootte is in principe 50x50 m, maar nabij de putten verfijnd tot 10x10 m. Cellen hebben in deze zone met de overgang van zoet naar zout grondwater een dikte van 0.5 m tot maximaal 1.5 m; gemiddeld genomen minder dan 1 m dik.

#### 5.1.2 Bodemopbouw

De bodemopbouw in de regio is gebaseerd op REGIS II.2. Op basis van de beschikbare sonderingen en lithologische classificatie (GEOTOP) is de weerstand van de deklaag ingeschat. De weerstand van de deklaag nabij het perceel is overgenomen uit de NHI database (LHM3.4), en is aangenomen op ca. 500 dagen voor de kleiige deklaag (maaiveld tot 8 m diepte). In het gebied eromheen is de weerstand groter, tot 1000 dagen per meter kleiige deklaag.

#### 5.1.3 Randvoorwaarde: grondwaterstanden

Als randvoorwaarde aan de zijkant en bodem zijn de gemeten stijghoogten op peilbuislocatie B49C0038 (uit Grondwatertools) overgenomen en vertaald naar constante zoetwaterstijghoogten. Aangenomen is dat nabij de peilbuislocatie de concentratie gemiddeld maximaal 7.5 g chloride/L is tot de bovenkant van de hydrologische basis (Rupel klei).

In het model is niet meegenomen dat de grondwaterstand kunstmatig verhoogd zal worden door subirrigatie. Wanneer dit wel gebeurt (zoals gepland), dan heeft dit een positief effect op de groei van de zoetwaterlens en dus de ondergrondse opslag.

#### 5.1.4 Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling is bepaald door gebruik te maken van neerslag en verdampingsreeksen van het KNMI. Daarnaast is de mate van afstroming naar het oppervlaktewatersysteem van belang. Deze factor is ingeschat door kalibratie van het grondwatertransportmodel op basis van het al dan niet stabiel blijven van de aanwezige zoetwaterlens in de ondergrond met de tijd.

#### 5.1.5 Initiële Cl-verdeling en concentratie in infiltratiewater

De Initiële Cl-verdeling is gestoeld op FRESHM (zie Figuur 5-1). Er is een relatief lage infiltratieconcentratie van 50 mg/L aangenomen.

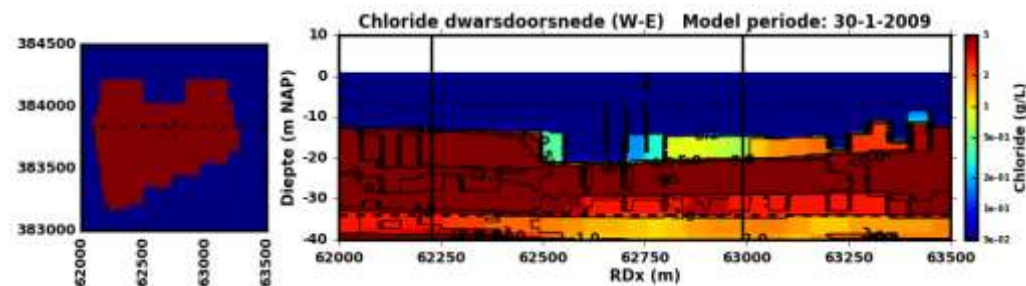
#### 5.1.6 Gemodelleerde debieten

Op basis van de waterbalans zijn 5 jaren gemodelleerd (2008-2013). Hierbij zijn aangenomen:

- Max. infiltratiedebiet: 50 m<sup>3</sup>/u (1200 m<sup>3</sup>/d)
- Max. onttrekkingsdebiet: 100 m<sup>3</sup>/u (2400 m<sup>3</sup>/d)

Aan het eind hiervan is de onttrekking 4 maanden doorgetrokken met een debiet van 100 m<sup>3</sup>/u (totaal ca. 300.000 m<sup>3</sup>). Zodoende is bepaald in welke mate er verzilting zal optreden bij zo'n langdurige onttrekking. In deze situatie wordt er uiteindelijk 115.000 m<sup>3</sup> meer onttrokken dan dat er in de voorgaande jaren in totaal is geïnfiltrerd.

In totaal vindt 705.000 m<sup>3</sup> infiltratie plaats en 820.000 m<sup>3</sup> winning.



Figuur 5-1: Chlorideconcentratieprofiel (zijaanzicht) in referentiescenario (geen onttrekking, geen infiltratie: concentraties blijven gelijk).

## 5.2 Horizontale putten in deklaag

In verband met de aangetroffen eigenschappen van deklaag (zowel in boringen, ondergrondmodellen en sonderingen, als bij de aangelegde drains op 5 m-mv) is besloten nog geen scenario te runnen met drains in de deklaag. De kans op het onttrekken van volumes in de orde van grootte 100 m<sup>3</sup>/u wordt op basis van de huidige informatie zeer klein geacht. Indien informatie in Fase B een indicatie geeft van zandige secties in de deklaag, dan kan in Fase C dit scenario op maat als nog worden doorerekend.

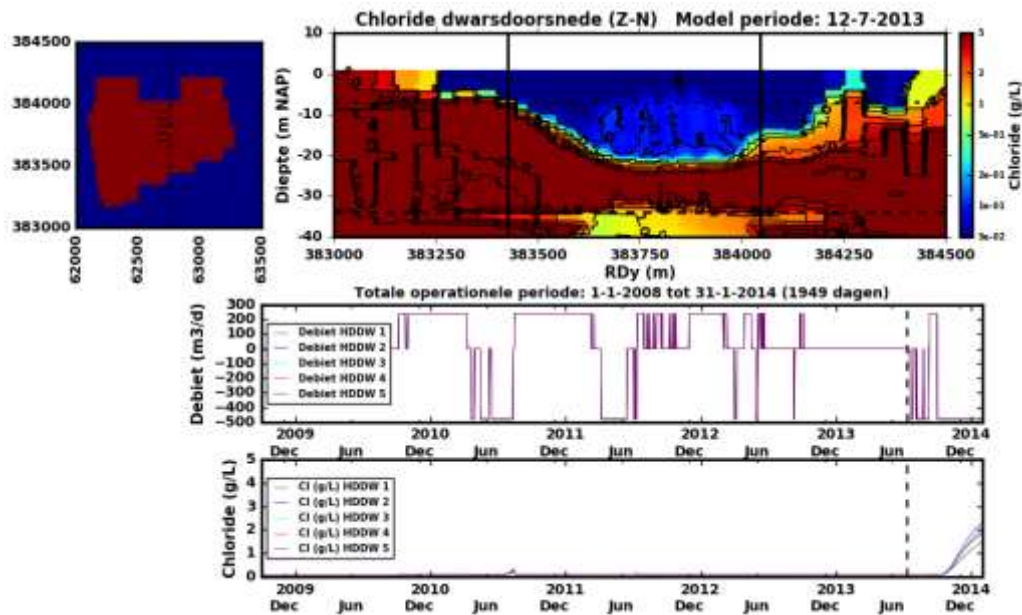
## 5.3 Horizontale putten in homogene zandlaag onder de kleilaag

In deze opzet zijn 5 horizontale putten (type: HDDW, aangelegd via horizontale gestuurde boring óf een zeer diepe diepdrain, indien haalbaar) met een lengte van 150 m geplaatst. Dit is gebaseerd op behaalde onttrekkingsdebieten per m filter in Ovezande en de verwachte maximale lengte van te realiseren HDDWs. De diepteligging is 9 m, waardoor de putten net onder de kleiige deklaag liggen.

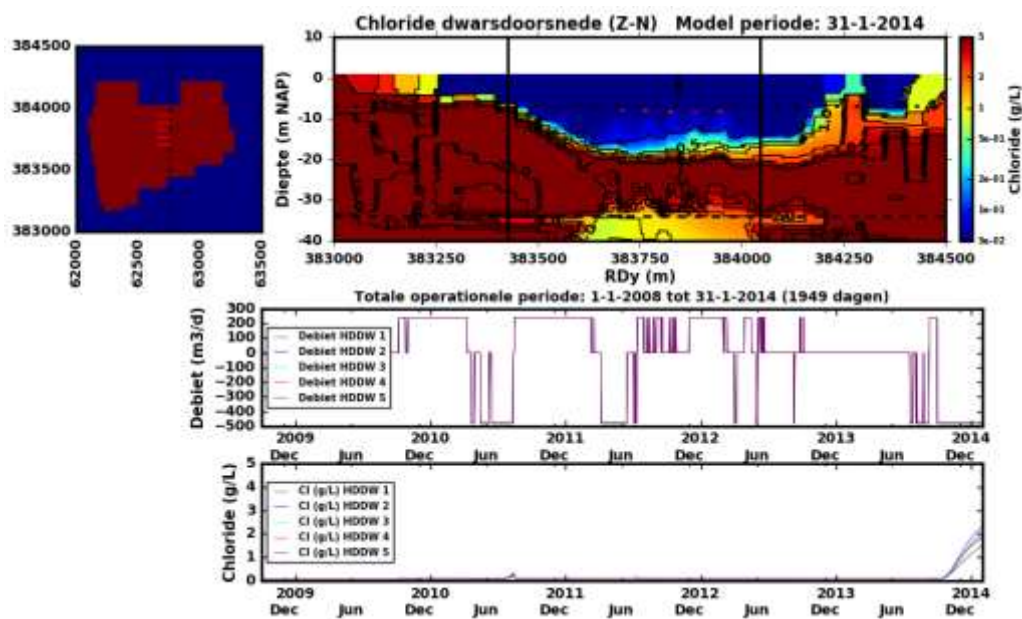
Per put is er een capaciteit van 20 m<sup>3</sup>/u. Dit wordt gezien als een technisch haalbaar debiet op basis van de meeste recente HDDW in Groede (Zuurbier et al., 2018).

Op basis van de resultaten blijkt dat de HDDWs zorgen voor verdikking van de zoetwaterlens tot ruim -20 mNAP. In gewone jaren blijft de winning vrij gemakkelijk zoet. Pas bij de langdurige onttrekking vanaf oktober 2013 ontstaat na 1,5 maand duidelijke verzilting (>400 mg/l Cl). Er is dan 164.000 m<sup>3</sup> onttrokken in het (verlengde) groeiseizoen van 2013. Er is dan 88% van het ingebrachte water weer onttrokken. Na deze periode loopt de concentratie langzaam op tot 1900 mg/L na 4 maanden voluit onttrekken. Het water wordt dan dus voor steeds minder teelten geschikt.

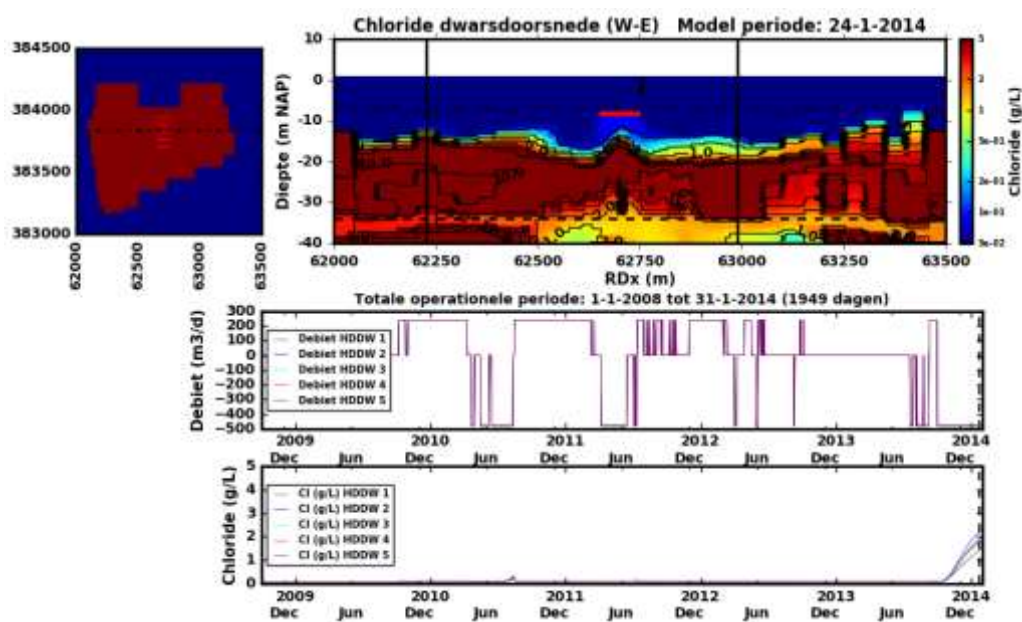
Eventuele diepe horizontale putten kunnen ervoor zorgen dat het onttrekkingswater zoet blijft door opkegelend zoutwater af te vangen, zoals bij de Freshmaker. Gezien de extra kosten voor deze putten en de geringe toename in te winnen zoetwater daarmee, is dit waarschijnlijk niet interessant.



Figuur 5-2: Chlorideconcentratieprofiel (frontaanzicht), debieten, en onttrokken chlorideconcentratie bij toepassing van 5 HDDWs. Momentopname van periode na infiltratie (lens is dik).



Figuur 5-3: Chlorideconcentratieprofiel (frontaanzicht), debieten, en onttrokken chlorideconcentratie bij toepassing van 5 HDDWs. Momentopname van periode aan het einde van lange onttrekking (lens is dun).



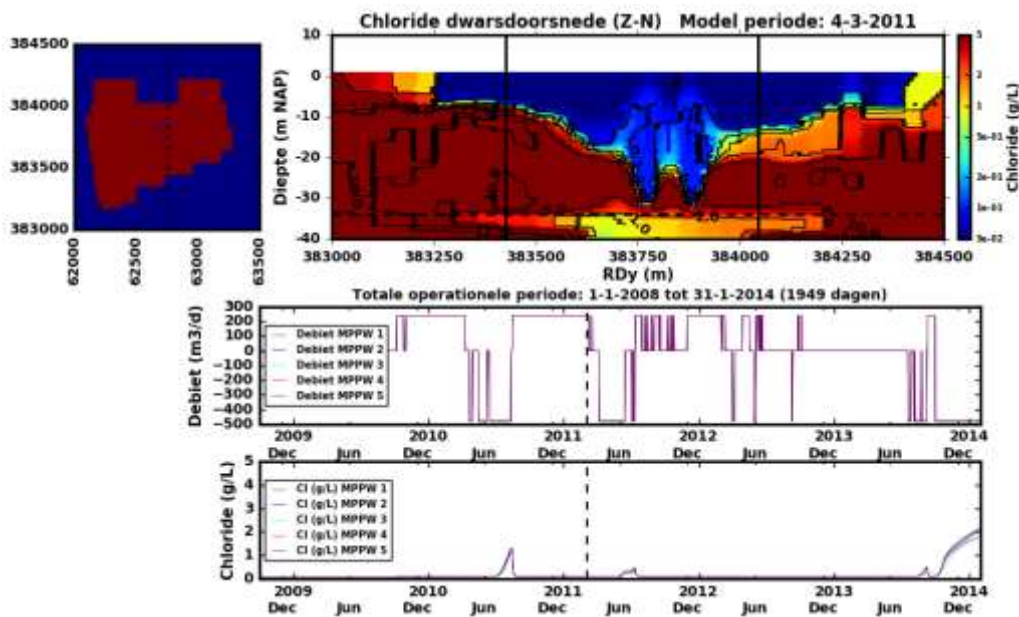
Figuur 5-4: Chlorideconcentratieprofiel (zij-aanzicht), debieten, en onttrokken chlorideconcentratie bij toepassing van 5 HDDWs. Momentopname van periode aan het einde van lange onttrekking (lens is dun).

#### 5.4 Verticale putten op 2 niveaus (MPPWs)

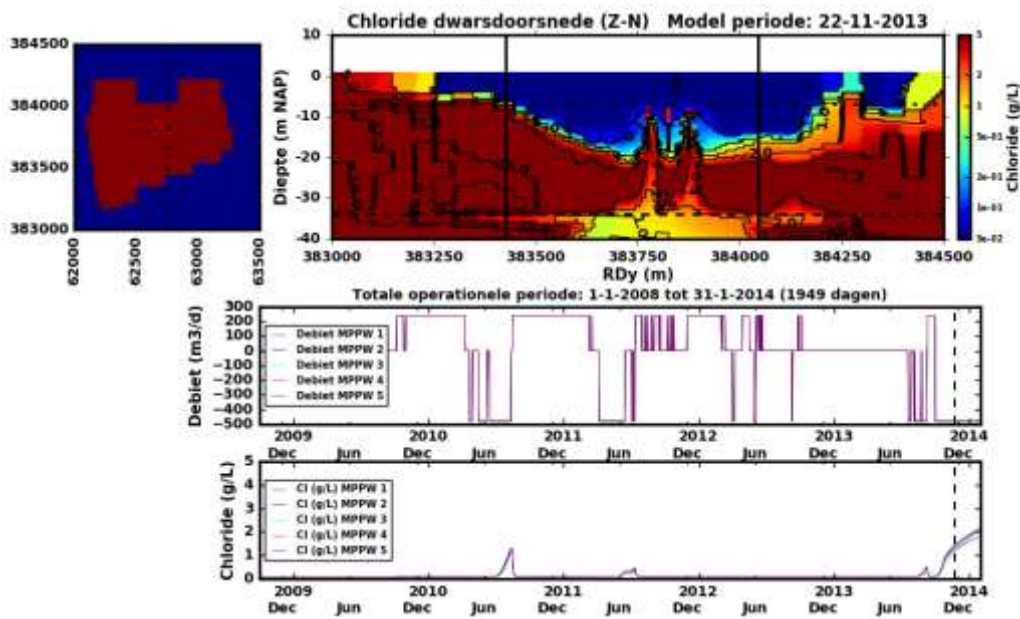
In deze opzet zijn putfilters geplaatst van 10-20 m-maaiveld om te infiltreren. Om te onttrekken is een filtersectie op 10-14 m diepte ingericht. De putten zijn geplaatst als een 'dubbelsteen-5' in een gebied van 100 x 100 m. Het aantal van vijf putten is hierbij gebaseerd op de hoeveelheid putten met een gangbare diameter die benodigd is om 100 m<sup>3</sup>/u te kunnen onttrekken.

Opvallend is hierbij dat de lens vooral lokaal en zeer sterk verdikt in de omgeving van de putten (Figuur 5-5). Opslag- en terugwinperioden laten echter een stevig terugveren van het zoute grondwater zien, gevolgd door stevige opkegeling tijdens de winning (Figuur 5-6). Ter plaatse van de middelste put is deze opkegeling vertraagd, maar alsnog significant.

In gewone jaren blijft de winning hierdoor niet altijd zoet. Bij de langdurige onttrekking vanaf oktober 2013 ontstaat binnen 1 maand duidelijke verzilting (>400 mg/l Cl). Er is dan 106.000 m<sup>3</sup> onttrokken in het (verlengde) groeiseizoen van 2013. Er is dan 71% van het ingebrachte water weer als zoetwater onttrokken. Na deze periode loopt de concentratie langzaam op tot 2100 mg/L na 4 maanden voluit onttrekken. Het water kan dan dus in principe voor steeds minder teelten worden gebruikt.



Figuur 5-5: Chlorideconcentratieprofiel (zijaanzicht), debieten, en onttrokken chlorideconcentratie bij toepassing van 5 MPPWs. Momentopname van periode na infiltratie (lens is dik).

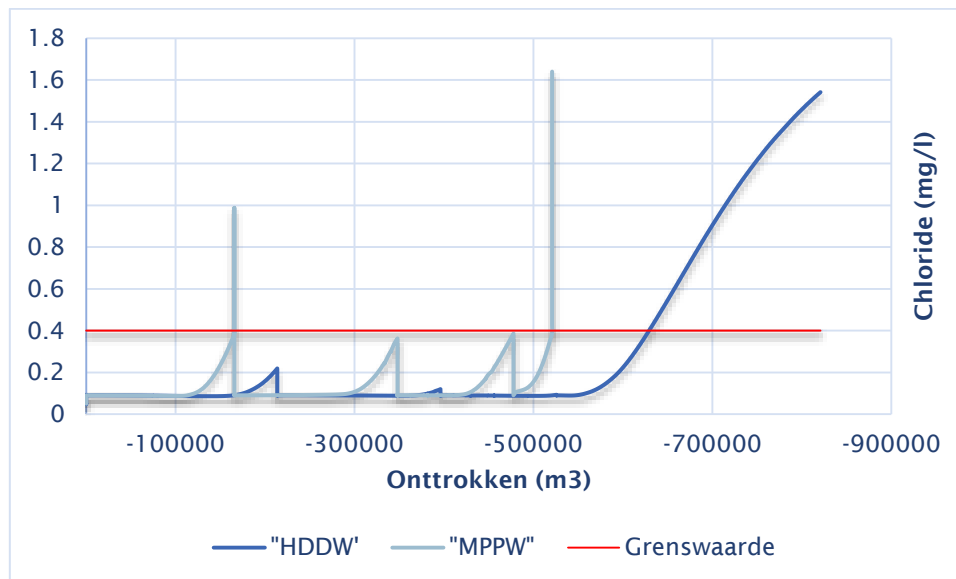


Figuur 5-6: Chlorideconcentratieprofiel (zij-aanzicht), debieten, en onttrokken chlorideconcentratie bij toepassing van 5 MPPWs. Momentopname van periode aan het einde van lange onttrekking (lens is dun).

### 5.5 Vergelijking horizontale en verticale putten

Wanneer de resultaten voor horizontale en verticale putten worden vergeleken, dan kan worden geconcludeerd dat horizontale putten op deze locatie de voorkeur genieten. Dit wordt bevestigd door de onttrokken concentraties van de beide systemen weer te geven (Figuur 5-7). De MPPWs zijn weliswaar in staat om verzilting uit te stellen ten opzichte van 'gewone' verticale bronnen, maar zijn te gevoelig voor opkegeling.

Er is een praktisch voordeel bij de horizontale putten omdat de grootste dikte van de lens zich midden in het perceel bevindt. MPPWs (of gewone verticale putten) zouden daarom middenin het perceel geslagen moeten worden, bereikbaar moeten zijn, en geen belemmering voor landbouwwerktuigen moeten vormen. Horizontale putten daarentegen kunnen vanaf de zijkant richting het gewenste gebied worden geboord en zijn dan toegankelijk vanaf de zijkant van het perceel.



Figuur 5-7: Chlorideconcentraties versus onttrokken m<sup>3</sup> voor HDDW en MPPW.

### 5.6 Inschatting invulling watervraag op basis van horizontale putten

Met de horizontale putten lijkt voldoende terugwinning in gewone jaren geen probleem. In zeer droge jaren (2003 / 2018) zal minder water teruggewonnen kunnen worden dan ultimo gewenst om de grondwaterstanden op peil te houden met water met concentraties <400 mg/l Cl: naar verwachting ruim 160.000 m<sup>3</sup> (139 mm) tegen 225.000 m<sup>3</sup> (196 mm) gewenst op basis van watertekort in het referentiescenario.

Of de onttrekking tijdens de eerste lichte verzilting in een zeer droog jaar ook echt gestaakt moet worden, is ook afhankelijk van het feit of het water via de drains ook echt tot aan de wortelzone van het gewas komt en wat de gemengde concentratie van het bodemvocht werkelijk wordt. Waarschijnlijk kunnen de drains nog enige tijd met verzilt water worden gevoed, zonder dat het gewas daaronder leidt of beter af is dan onder verdrogende omstandigheden. Ook ligt de grens niet voor alle gewassen op de aangehouden 400 mg/l Cl. Aan de andere kant kan met het grote volume zoetwater dat wel beschikbaar is waarschijnlijk het bodemvocht voor langere tijd op een relatief hoog gehalte worden gehouden. Het voorkomen van forse schade door terugwinning uit de ondergrondse opslag in zeer droge jaren lijkt hiermee zeer goed haalbaar.

Het gekozen aantal van 5 horizontale putten lijkt passend wanneer gekeken wordt naar opkegeling van zout, dieper grondwater. Minder horizontale putten zou leiden tot meer opkegeling doordat meer water onttrokken wordt in een kleiner gebied. Verdere spreiding of plaatsing in de vorm van een pentagon kan opkegeling wellicht nog verder tegengaan.





## 6 Inschatting realisatie en kosten

### 6.1 Puttenveld

#### 6.1.1 HDDWs

Realisatie van de 5 HDDWs kost naar schatting ca. 150 kE. Aanleg zou kunnen worden uitgevoerd door een lokaal boorbedrijf gespecialiseerd in gestuurde boringen. Het voordeel van deze methode is dat er gevarieerd kan worden in de diepte op basis van bevindingen in Fase B. Nadeel is de hoge prijs, welke wordt veroorzaakt door zowel materiaalkosten als plaatsingskosten (ca. 50/50).

Op basis van Fase B en C kunnen aantal en lengte van de HDDWs nog verder worden bijgesteld. Vanaf de diepdrains zal leidingwerk gerealiseerd moeten worden tot aan een ruimte met pompen, bijvoorbeeld aan de zijkant van het perceel (Figuur 6-2). Bij voorkeur worden de leidingen niet met elkaar verbonden en heeft iedere put zijn eigen pomp en leidingwerk.

#### 6.1.2 Diepdrains

Veel goedkoper zou het zijn om diepdrains op een diepte van meer dan 8.5 m-mv aan te kunnen leggen. Dit is nog niet gangbaar in de markt. De volgende bedrijven halen relatief grote dieptes met forse machines:

- Van Kessel (NL): tot 8 m-mv
- Omnidrain (Vlaanderen): tot 8.5 m-mv (max. 200 mm buizen)

Kosten worden hierbij geschat op ca. 30-40 kE.

Een mogelijkheid is om eerste de tracés af te graven (ca. 1 m) en vervolgens met deze dreineermachine (type: kettinggraver) de drains te plaatsen. Zo kan een diepte van ca. 9 m worden bereikt. Op basis van de sondering zou dit echter nog niet voldoende diep zijn. Ook is de impact op de grond (verstoring bodem) bij deze techniek groot.

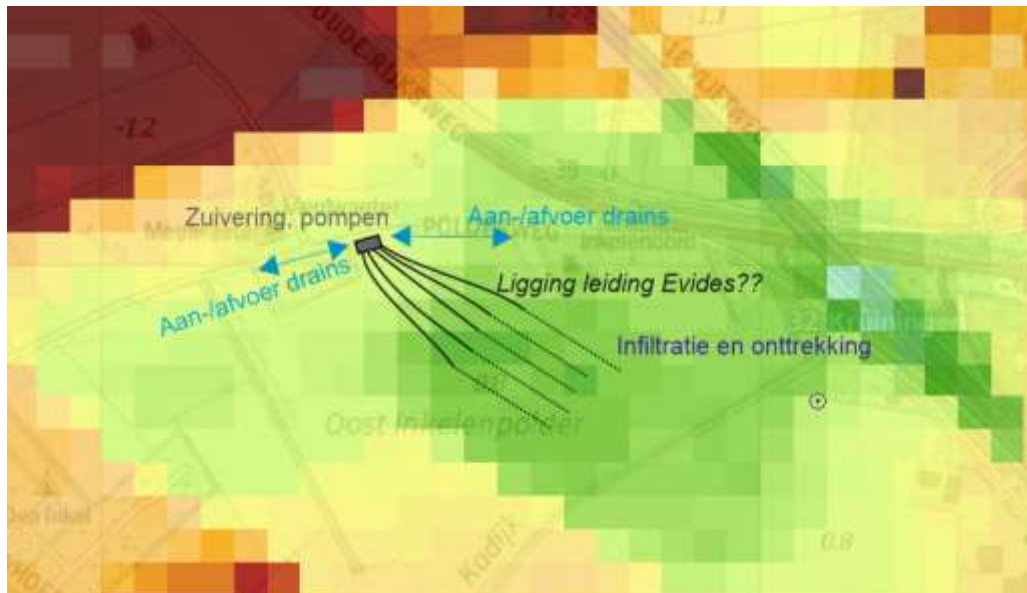
Essentieel bij de keuze voor diepdrains worden de uitkomsten van het veldonderzoek in Fase B, waarbij ook de voorkomens van zand en klei in het kreekrugprofiel beter bekend worden. Dan kan worden bepaald of dit werkelijk een haalbaar alternatief voor HDDWs vormt.

#### 6.1.3 MPPWs

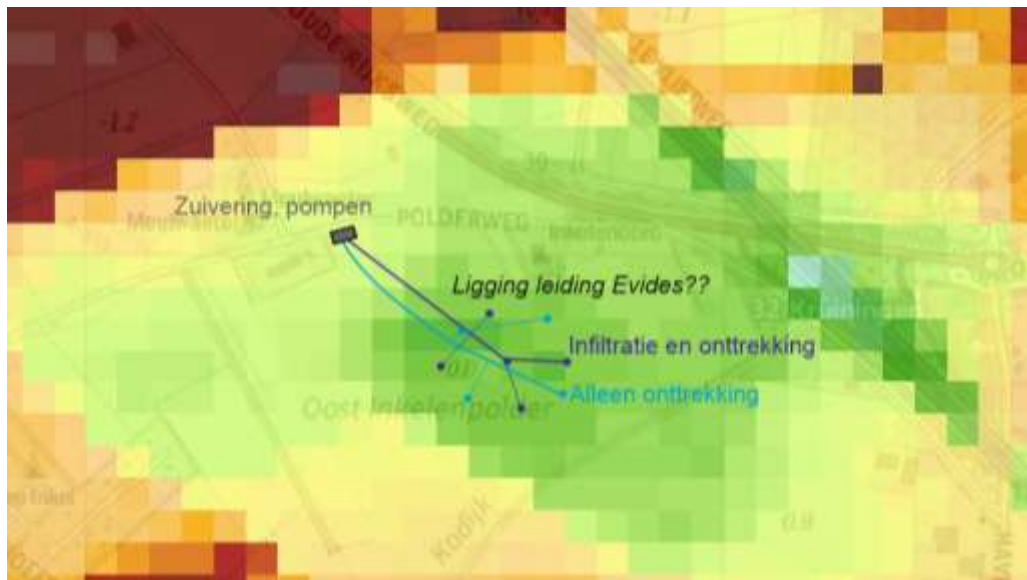
Hoewel MPPWs minder goed presteren als het gaat om terugwinning van het zoete water en op het centrale deel van het perceel minder praktisch zijn, hebben ze ten opzichte van HDDWs het voordeel dat ze relatief goedkoop zijn aan te leggen. De kosten per bron (type: zuigboring) zijn inclusief ontwikkelen ca. 12 kE (totaal: 60 kE). Wel moet rekening gehouden worden met extra verbindend leidingwerk tussen de bronnen en bescherming van de bronnen.

Overwogen kan worden om voor de terugwinning van zoetwater extra bronnen te plaatsen met een kort filter in de bovenzijde van het eerste watervoerende pakket. De onttrekking kan dan worden verspreid over een groot oppervlak en opkegeling van diep

zout grondwater wordt zo gereduceerd. De kosten voor dergelijke bronnen (middels spoelboring of sonisch) zijn gering: ca 2 k€ per bron. Wel moet er in dit geval verbindend leidingwerk komen én zijn er nog meer punten midden in het perceel waar zich bronnen bevinden (Figuur 6-2).



Figuur 6-1: Gebruik van horizontale putten



Figuur 6-2: Voorbeeld bij gebruik van verticale putten voor infiltratie en onttrekking (5 stuks) en alleen onttrekking (5 stuks).

## 6.2 Zuivering, infiltratie en terugwinning

Het drainwater moet voorafgaand aan infiltratie voorgezuiverd worden. Minimaal moeten de fijne zwevende delen worden verwijderd en bij voorkeur wordt het water ook gedesinfecteerd zodat biologische groei in de bronnen wordt beperkt. Afhankelijk van de drainwaterkwaliteit (te onderzoeken in Fase B) moet gedacht worden aan de volgende stappen:

1. Bij hoge vuillast: snelle zandfiltratie (filterketels) en/of discfiltratie: beiden zelfreinigend (droog opgesteld)
2. Langzame zandfilters (minimaal 100 m<sup>2</sup> oppervlak bij 50 m<sup>3</sup>) (filtertank, buiten)
3. Eventueel doseren desinfectiemiddel (zoals natriumhypochloriet)

In een droge technische ruimte dienen tevens pompen te worden geplaatst voor zuivering (ca. 50 m<sup>3</sup>/u), infiltratie (ca. 50 m<sup>3</sup>/u) en winning (5x 20 m<sup>3</sup>/u). Infiltratie dient plaats te vinden via een voordrukbuï met een hoogte van minimaal 3 m.

Indien de volledige voorzuivering noodzakelijk is, bedragen de kosten van deze zuivering en pompinstallatie ca. 80 tot 100 kE.

De zuivering kan eventueel op het terrein van Meulwaeter komen in een bestaand gebouw. In dat geval moet er verbindend leidingwerk onder de weg door worden gerealiseerd. Zo niet, dan moet rekening worden gehouden met de aanleg van een klein gebouw (ca. 10x10 m) op het perceel, waar ook een zware stroomaansluiting gerealiseerd moet worden.

Kosten voor distributie naar verderop gelegen percelen zijn hierbij nog niet meegerekend.

## 6.3 Totale kosten (plusminus 30%)

Op basis een standaard-kostensystematiek is gerekend aan de kosten. Hieruit is gebleken dat de kosten van de ondergrondse opslag bij een keuze voor 5 HDDWs uitkomt op ca. 0,24 euro/m<sup>3</sup>, ondanks een hoge investering (Tabel 6-1). De MIA/Vamil regeling en het zeer grote leveringsvolume hebben daarbij een positief effect.

Tabel 6-1: Raming investeringen Meulwaeter.

Onderdeel	Kosten (excl BTW)
Leidingwerk	€ 10,000
Stroom	€ 25,000
Gebouw (eenvoudig of containers)	€ 50,000
Aanleg HDDWs	€ 150,000
Aanleg Zuivering+pompen*	€ 90,000
<b>Totaal</b>	<b>€ 325.000</b>

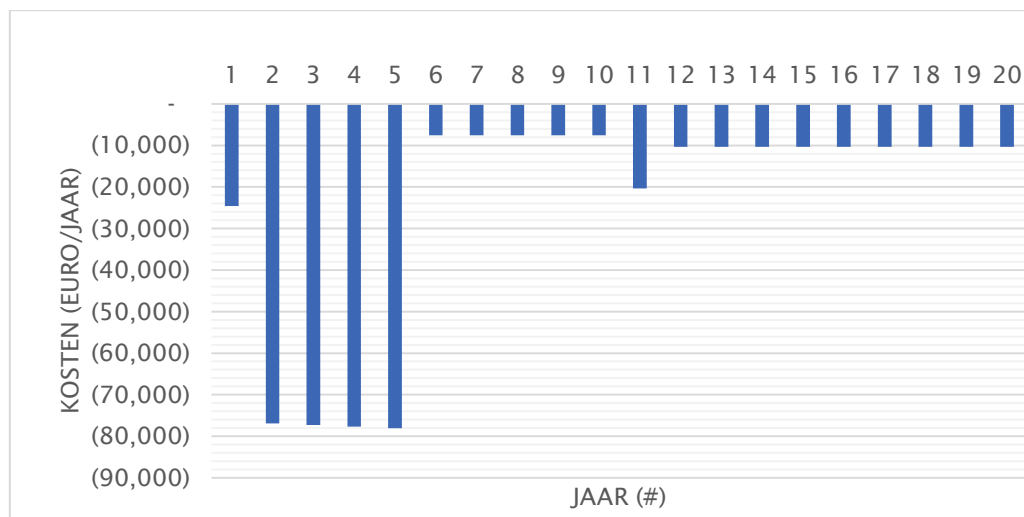
\* Na 10 jaar worden alle pompen vervangen

Tabel 6-2: Raming operationele kosten (behalve energie) Meulwaeter.

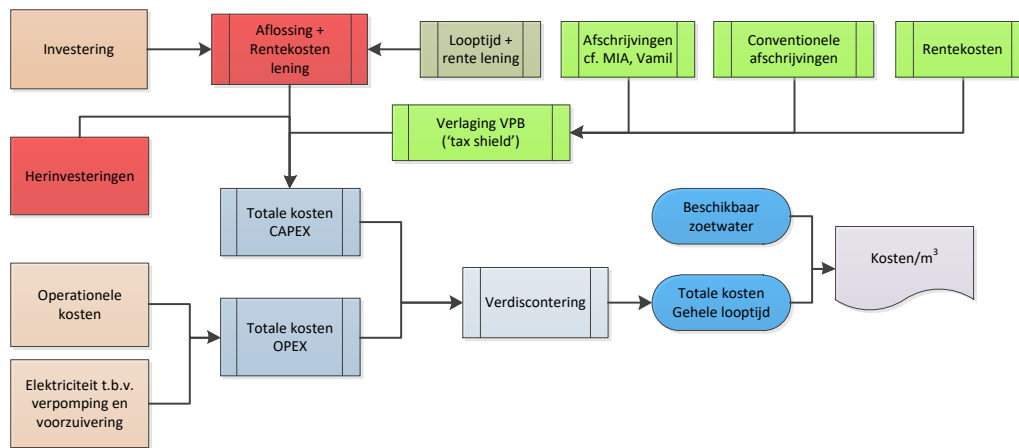
<b>Operationele kosten</b>	<b>€/jaar</b>
Analyse infiltratiewater	1000
Regeneratie HDDWs	1000
Klein onderhoud	2500
Energie	6080

Tabel 6-3: Aannames doorrekening kosten Meulwaeter

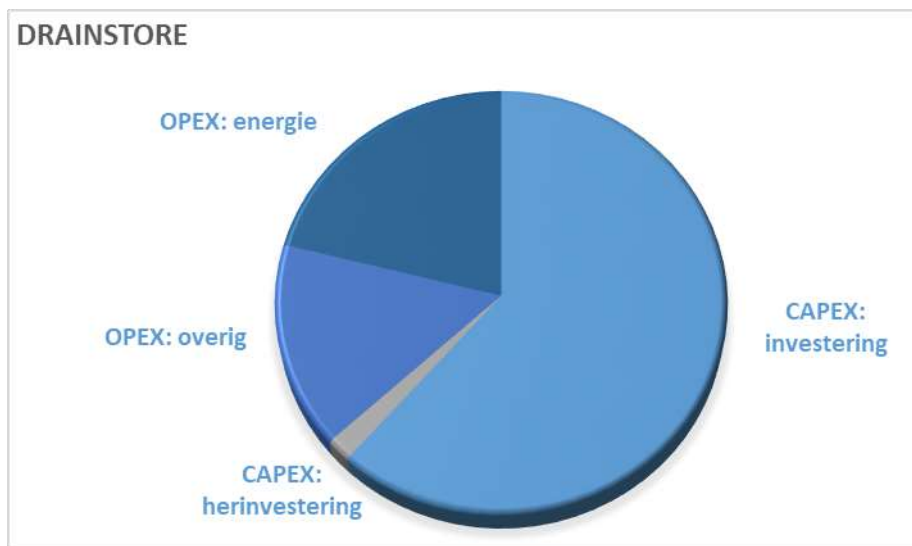
<b>Input</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Gekozen waarde</b>
Looptijd ASR	Jaar	20
Jaarlijkse behoefte/onttrekking	m <sup>3</sup> /Jr	100,000
Jaarlijkse infiltratie	m <sup>3</sup> /jr	100,000
Afschrijftermijn ASR installatie	jaar	10
Disconteringsfactor	%	0.0%
Stroomprijs	€/kWh	0.16
Looptijd lening	jaar	5
Rente lening	%	3



Figuur 6-3: Kosten op jaarbasis



Figuur 6-4: Systematiek berekening kosten



Figuur 6-5: Bijdrage verschillende onderdelen aan kostprijs.



## 7 Conclusies

### 7.1 Waterbalans Meulwater

Naar verwachting kent Meulwater in de eindsituatie een watertekort van gemiddeld 100.000 m<sup>3</sup>/j. In droge jaren loopt dit op tot 225.000 m<sup>3</sup>. Door de sturing van de drains (infiltratie van afvoer en aanvulling bij droogte) moet er waarschijnlijk iets meer water worden opgeslagen en teruggewonnen.

Met name met horizontale putten lijkt een goede terugwinning van zoetwater mogelijk. Uit de berekeningen blijkt dat hiermee in gewone jaren het volledige watertekort wordt voorkomen. In zeer droge jaren kan naar verwachting een watertekort net niet worden voorkomen, doordat lichte verzilting van het winwater plaatsvindt.

Verticale putten (MPPWs) functioneren enigszins slechter dan de horizontale putten. Mogelijk dat het bijplaatsen van extra winputten met ondiepe filters dit kan verbeteren.

### 7.2 Kosten

De totale investering voor het opslag- en terugwinningssysteem in de kreekruig is volgens de eerste schatting 325.000 euro. Op basis van een kostenraming is de verwachting dat de jaarkosten gemiddeld 24.000 euro/j zijn. Dit is gemiddeld 0,24 euro/m<sup>3</sup>. Kostenbesparingen zijn hierbij nog mogelijk door:

- de installatie in een bestaand gebouw te plaatsen: investering ca. 50 kE lager, maar vereist wel extra leidingwerk onder de weg door;
- het mogelijk beperken van de zuiveringscapaciteit (als de drainwaterkwaliteit dit toestaat);
- gebruik van verticale putten (MPPWs) i.p.v. HDDWs: investering 78 kE lager; jaarkosten 3000 euro/j lager.





## 8 Referenties

Feddes, R. A. (1987). Crop factors in relation to Makkink reference-crop evapotranspiration. Geraadpleegd van: <https://edepot.wur.nl/184033>

Roest, C.W.J., Van Bakel, P.J.T., Smit, A.A.M.F.R. (2003). Actualisering zouttolerantie gewassen. Alterra. Geraadpleegd van: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/22933>

Stuyt, L.C.P.M., Blom-Zandstra, M., Kselik, R.A.L. (2016). Inventarisatie en analyse zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van bestaande gegevens. Wageningen University & Research. Geraadpleegd van: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/391931>

Van Dam, A.M., Clevering, O.A., Voogt, W., Aendekerk, Th.G.L., Van der Maas, M.P. (2007). Zouttolerantie van landbouwgewassen. Deelrapport Leven met zout water. Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. PPO Publicatienr. 32 340194 00. Geraadpleegd van: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/27637>

Zuurbier, K.G., van Dooren, T.C.G.W., Ros, S.E.M., 2018. Improved Freshmaker Reference site. Improved Freshmaker reference site in Ovezande, the Netherlands (TRL8). D1.4, SubSol

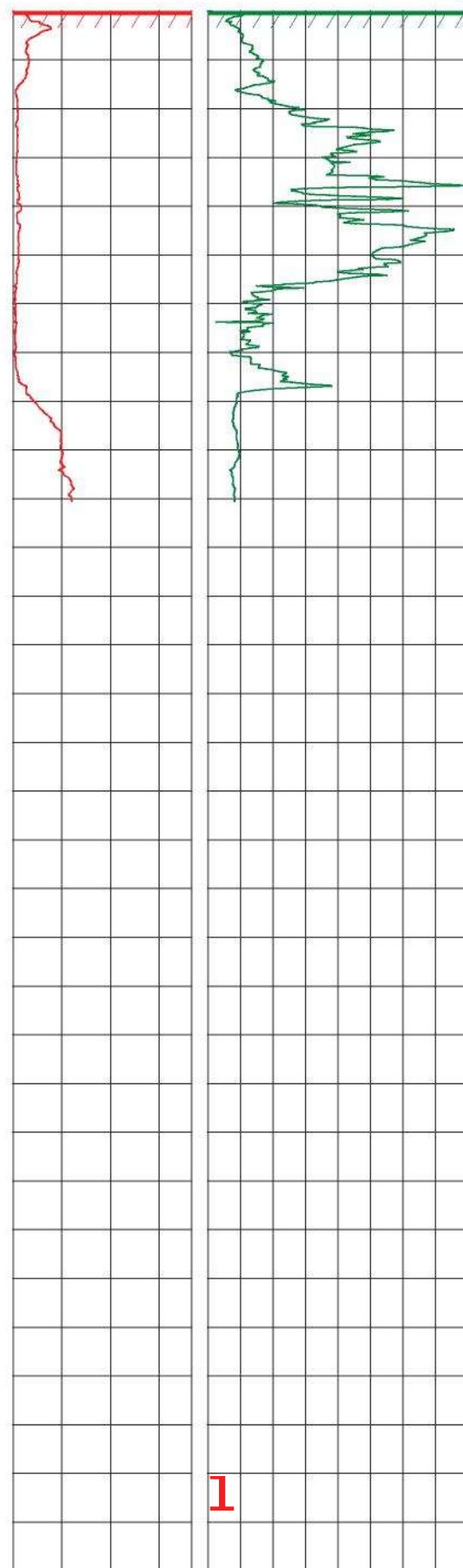
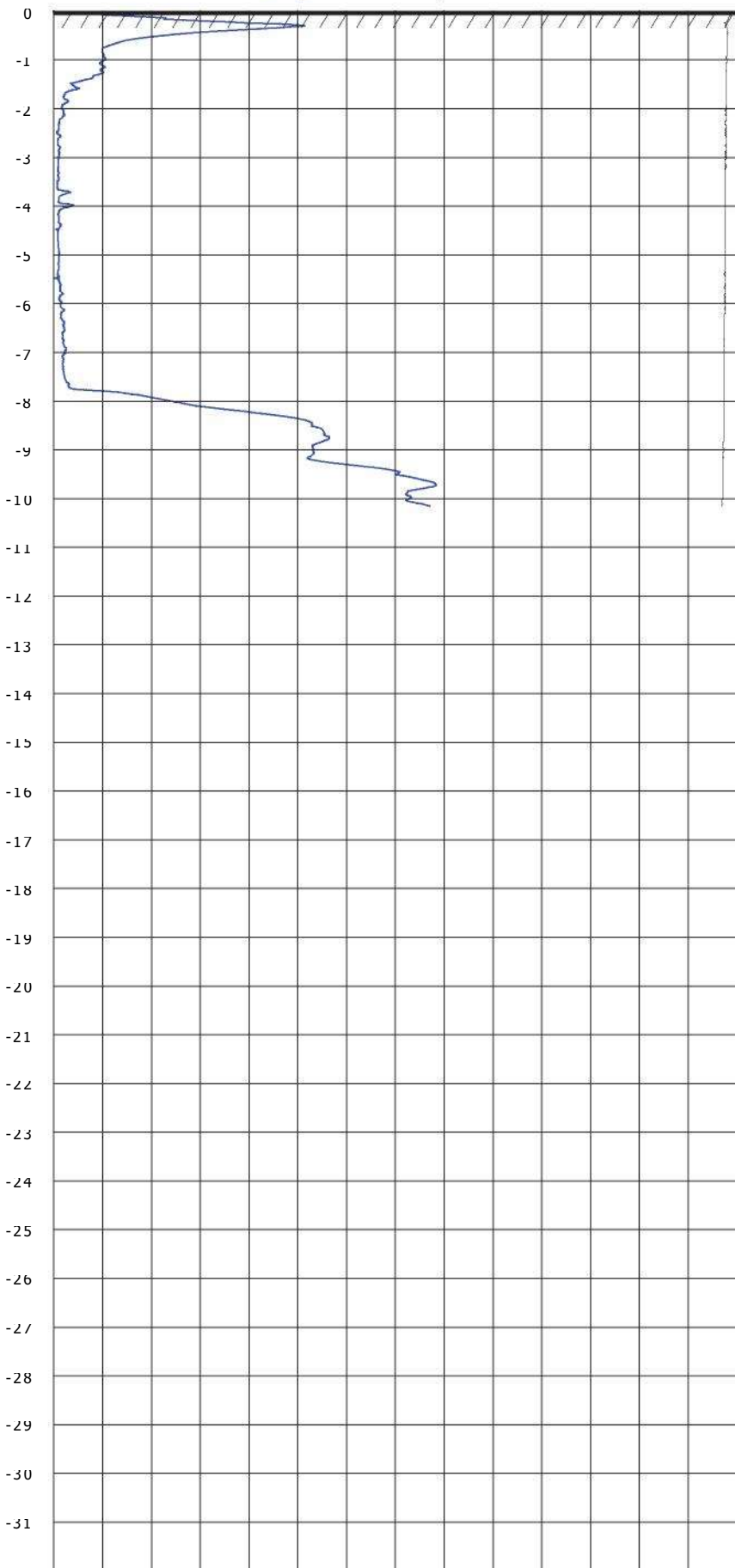


## Bijlage I    **Sonderingen**

Conusweerstand (MPa)


Hellinghoek in graden 10

Plaatselijke



Diepte in meters t.o.v. Maaiveld.

1

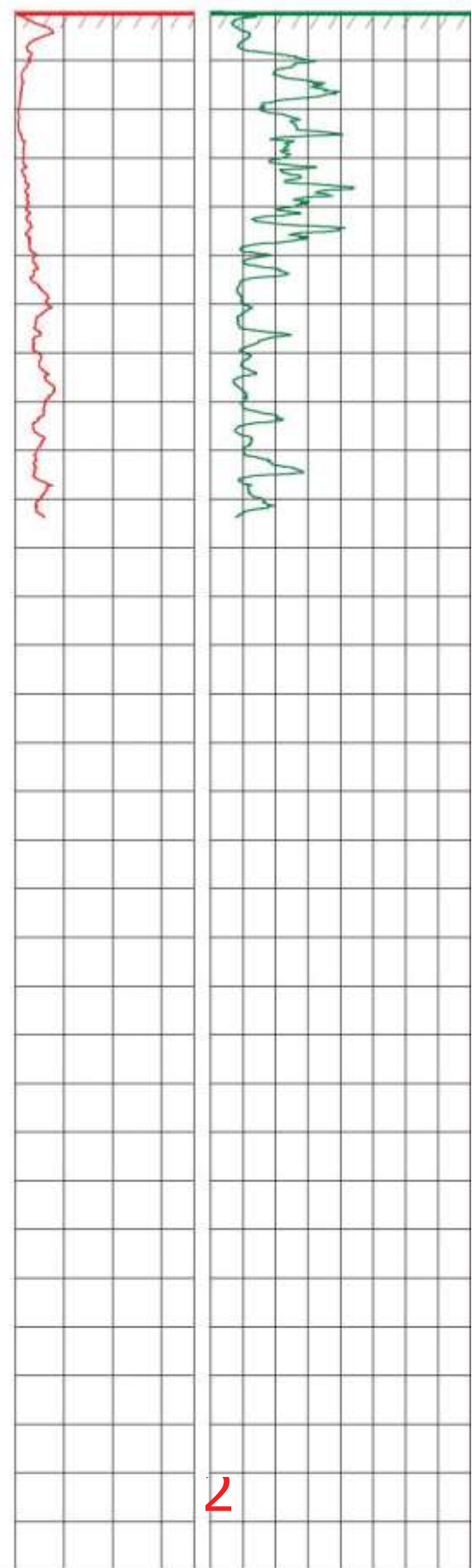
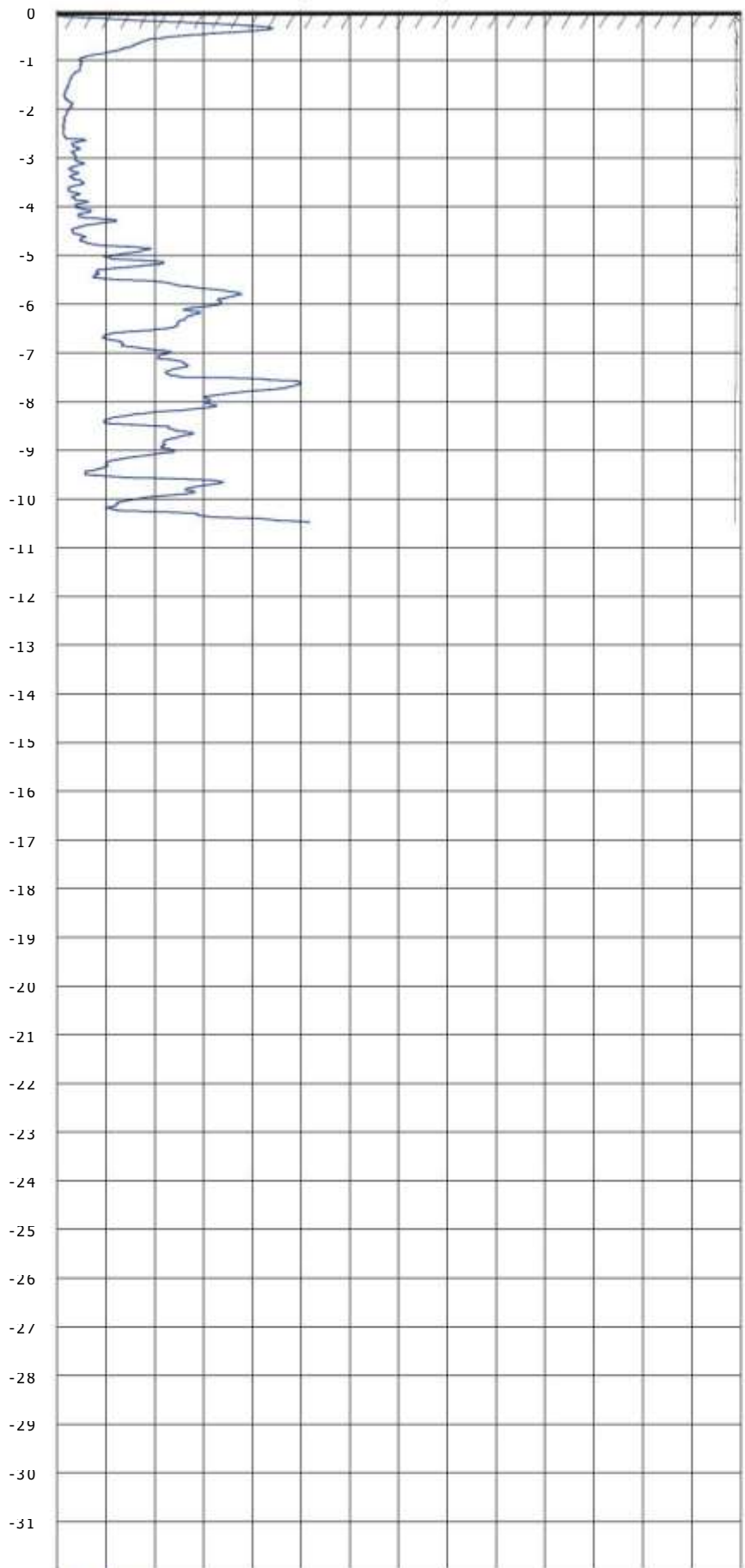
Diepteschaal: 75 mm = 1 m	 <b>VAN DER STRAATEN</b> AANNEMINGSMAATSCHAPPIJ BV <small>Afdeling Geotechniek</small>		<b>Postbus 5</b>		<b>Telefoon (0031) 113-382510</b> <b>E-mail : <a href="mailto:info@vd-straaten.nl">info@vd-straaten.nl</a></b>	
	PLAATS	: KRUJNINGEN	HOOGTE MAAIVELD	: 0.0 m t.o.#. <b>Maaiveld.</b>	CONUS TYPE	: SUB-15
	LOCATIE	: HOGENAKKERWEG 25	GRONDWATERSTAND	: m1- MAAIVELD	ID CONUS	: 161201
	OPDRACHTGEVER	: HOOTEGEM, VAN	DATUM	: 10-7-2017	SONDERING	: - NEN-EN-ISO 22476-1
PROJECTNUMMER	: <b>170396</b>	TIJD	: 16:49	VOLGENS	: - NEN-EN-ISO 22476-1	
ID SONDERING	: <b>1</b>	X-COORDINAAT (RD)	:	v-COORDINAAT (RD)	:	

Conusweerstand (MPa)

Hellinghoek in graden 10

Plaatselijke

Diepte in meters t.o.v. Maaiveld.



2



Postbus 5

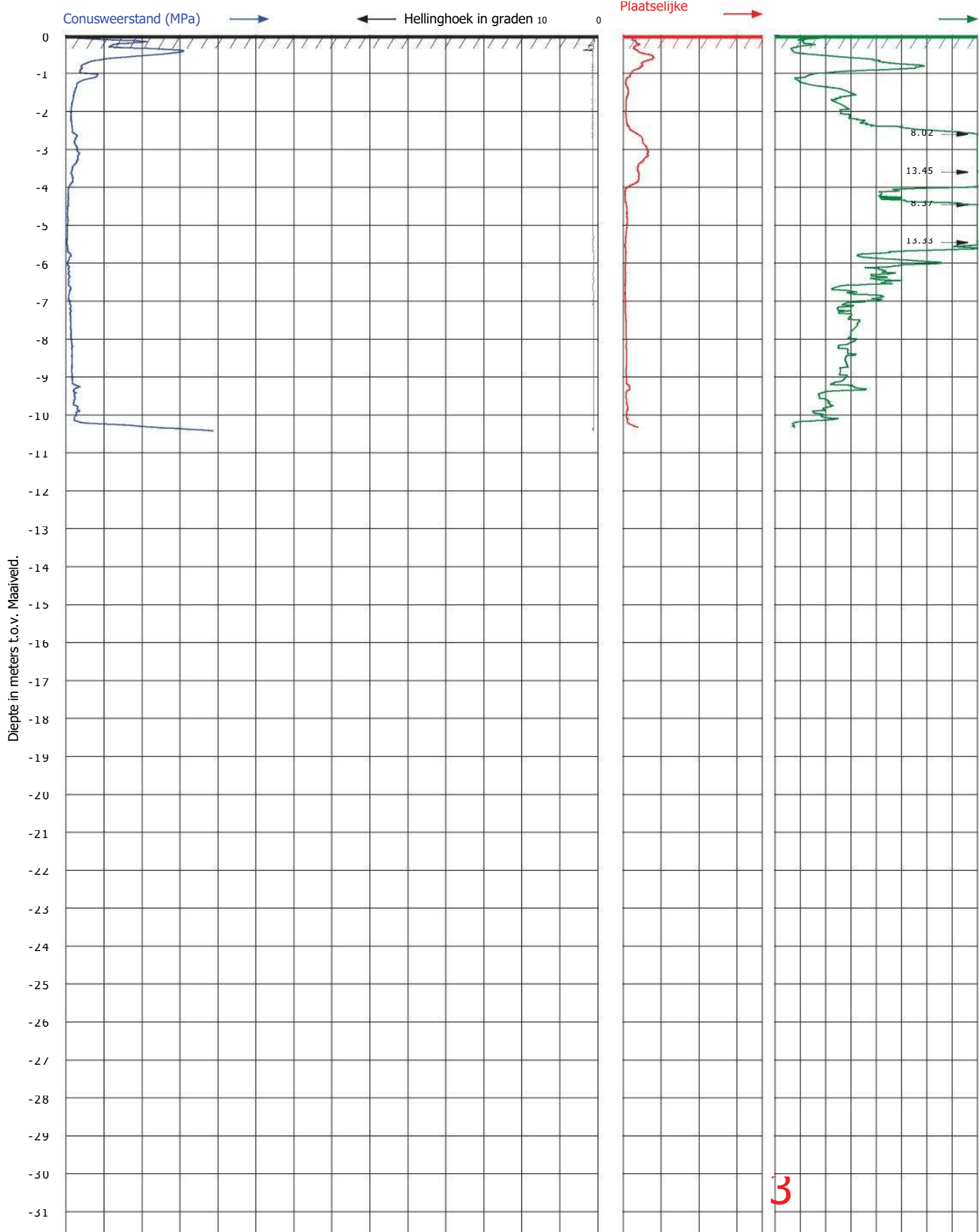
Telefoon (0031) 113-382510  
E-mail : [info@vd-straaten.nl](mailto:info@vd-straaten.nl)

Diepteschaal: 75 mm = 1 m

PLAATS : **KRUJINGEN**  
 LOCATIE : **HOGENAKKERWEG 25**  
 OPDRACHTGEVER : **HOOTEGEM, VAN**  
 PROJECTNUMMER : **170396**  
 ID SONDERING : **2**

HOOGTE MAAIVELD : **0.0** m t.o.#. **Maaiveld.**  
 GRONDWATERSTAND : m1- MAAIVELD  
 DATUM : 10-7-2017  
 TIJD : 17:09  
 X-COORDINAAT (RD) :

CONUS TYPE : SUB-15  
 ID CONUS : 161201  
 SONDERING VOLGENS : - NEN-EN-ISO 22476-1  
 v-COORDINAAT (RD) :



Diepteschaal: 75 mm = 1 m



**VAN DER STRAATEN**  
AANNEMINGSMAATSCHAPPIJ BV  
*Afdeling Geotechniek*

**Postbus 5**

**Telefoon (0031) 113-382510**  
**E-mail : [info@vd-straaten.nl](mailto:info@vd-straaten.nl)**

PLAATS : **KRUJINGEN**  
LOCATIE : **HOGENAKKERWEG 25**  
OPDRACHTGEVER : **HOOTEGEM, VAN**  
PROJECTNUMMER : **170396**  
ID SONDERING : **3**

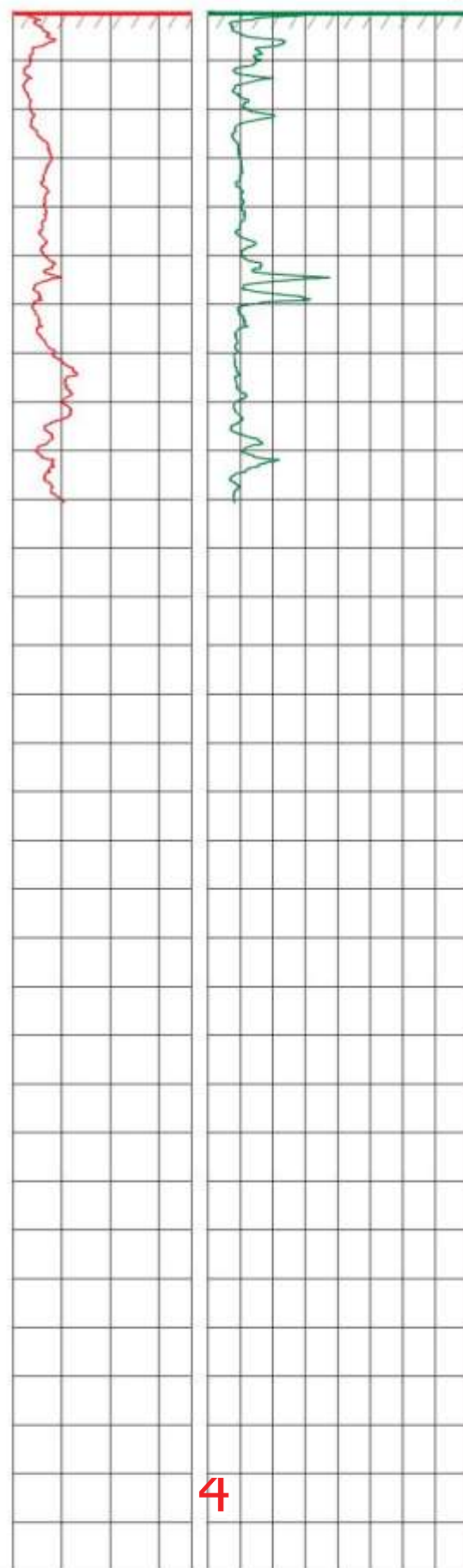
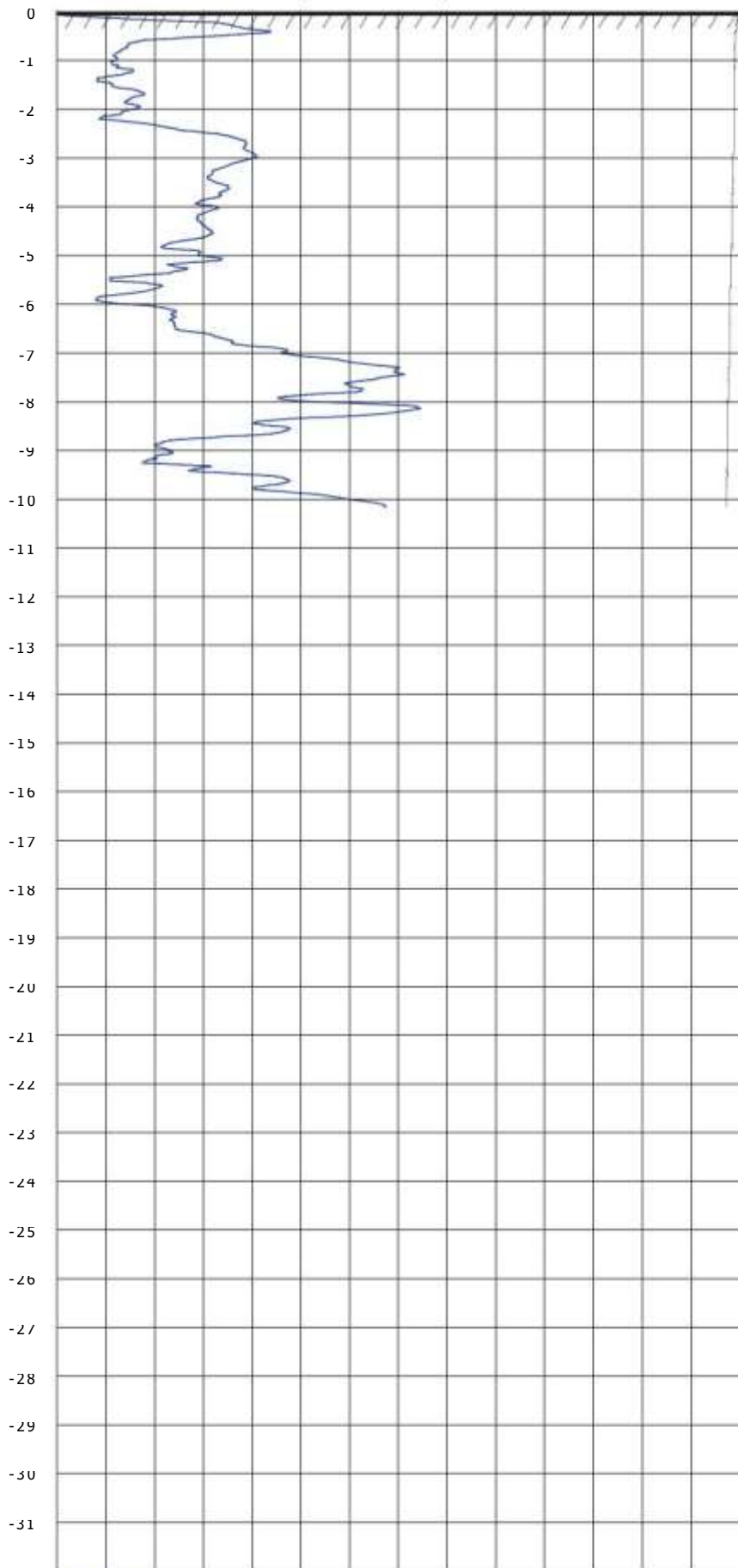
HOOGTE MAAIVELD : **0.0** m t.o.#. **Maaiveld.**  
GRONDWATERSTAND : m1- MAAIVELD  
DATUM : 10-7-2017  
TIJD : 17:30  
X-COORDINAAT (RD) :

CONUS TYPE : SUB-15  
ID CONUS : 161201  
SONDERING  
VOLGENS : - NEN-EN-ISO 22476-1  
v-COORDINAAT (RD) :

Conusweerstand (MPa)

Hellinghoek in graden 10

Plaatselijke



Diepte in meters t.o.v. Maaiveld.

4



Postbus 5

Telefoon (0031) 113-382510  
 E-mail : [info@vd-straaten.nl](mailto:info@vd-straaten.nl)

Diepteschaal: 75 mm = 1 m

PLAATS	: KRUINGEN
LOCATIE	: HOGENAKKERWEG 25
OPDRACHTGEVER	: HOOTEGEM, VAN
PROJECTNUMMER	: <b>170396</b>
ID SONDERING	: <b>4</b>

HOOGTE MAAIVELD	: <b>0.0</b> m t.o.#. <b>Maaiveld.</b>
GRONDWATERSTAND	: m1- MAAIVELD
DATUM	: 10-7-2017
TIJD	: 17:49
X-COORDINAAT (RD)	:

CONUS TYPE	: SUB-15
ID CONUS	: 161201
SONDERING	: - NEN-EN-ISO 22476-1
VOLGENS	:
v-COORDINAAT (RD)	:

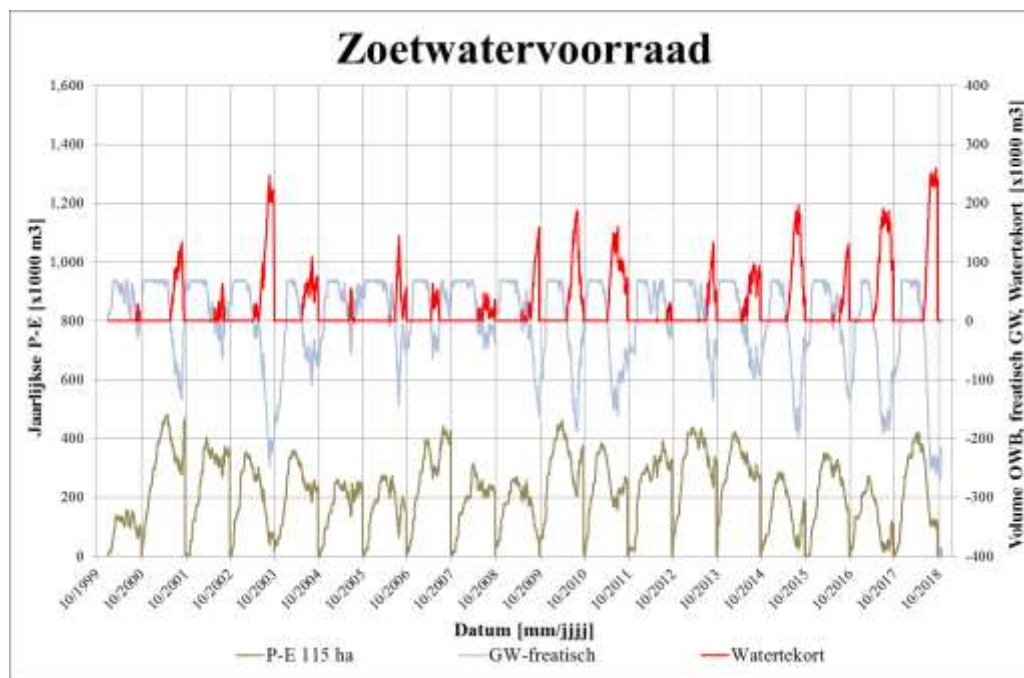




## Bijlage II Aanvullende scenario's voor de waterbalansberekening

### II.1 Scenario 3: zonder ondergrondse waterberging met minder speling in het freatische grondwaterniveau

In scenario 3 is er geen ondergrondse waterberging (OWB) en is voor niveau c de waarde 0.2 m gebruikt. Zodoende vindt afstroming van freatisch grondwater eerder plaats dan in het referentiescenario, en is het in het groeiseizoen minder lang en minder vaak beschikbaar voor gewassen. Daarom zullen het watertekort en de aanvullende vraag naar irrigatiewater groter zijn. Dit blijkt ook uit de resultaten in Figuur 8-1 en Tabel 4-3. Ieder jaar is er in het groeiseizoen een tekort aan water, gemiddeld circa 134.000 m<sup>3</sup>. In het groeiseizoen van droge jaren (2003 en 2018) kan dit watertekort oplopen tot circa 260.000 m<sup>3</sup>. Dit laat opnieuw zien dat een waterberging veel kan betekenen voor de watervoorziening van Meulwaeter, en dat de sturing van het freatische grondwaterniveau erg bepalend is voor het watertekort.



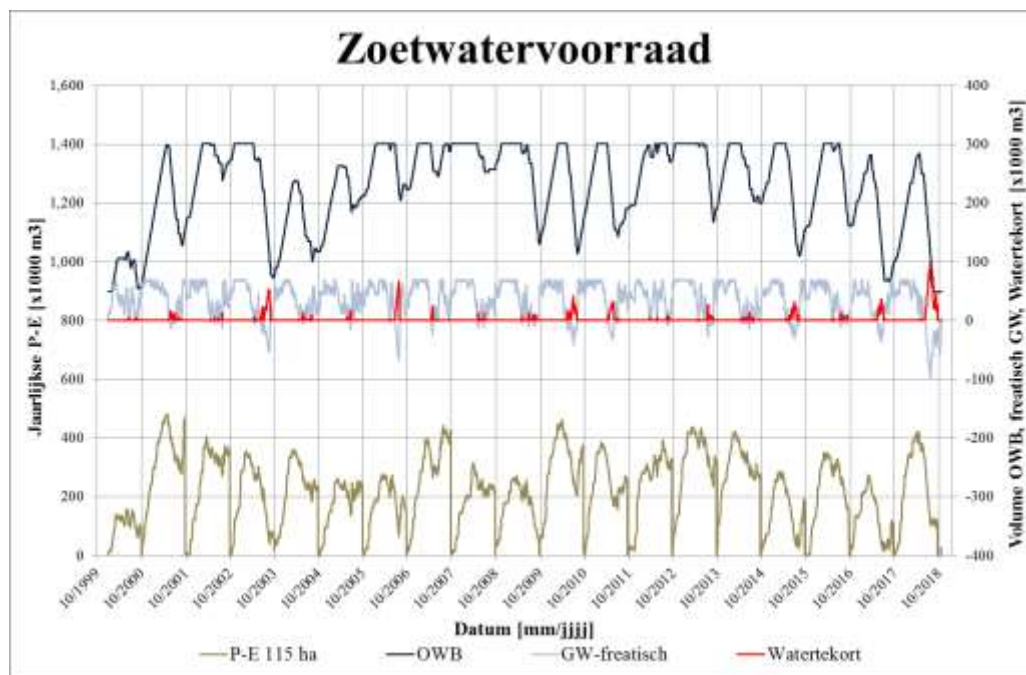
Figuur 8-1: Tekort aan water in het groeiseizoen zonder opslag en aanvulling via ondergrondse waterberging. De zoetwatervoorraad in het freatische grondwater en het neerslagoverschot (P-E) voor een hydrologisch jaar (1 oktober – 30 september) zijn tevens weergegeven.  $c = 0,2$  m. Het neerslagoverschot start op 1 oktober van ieder jaar weer op 0 mm.

## II.2 Scenario 4: met ondergrondse waterberging

In scenario 4 zijn dezelfde randvoorwaarden gebruikt als in scenario 1, behalve dat het sturingsniveau  $c$  nu gelijk is aan  $0.2\text{ m}$ . Ten opzichte van scenario 1 stroomt freatische grondwater dus eerder en vaker af naar het oppervlaktewater.

Het maximale tekort bedraagt circa  $100.000\text{ m}^3$  (Figuur 8-2 en Tabel 4-3). Het gemiddelde watertekort bedraagt circa  $30.000\text{ m}^3$ , wat ongeveer een kwart is van het tekort zonder ondergrondse waterberging. Het gemiddelde tekort is groter dan in scenario 1, wat te verklaren is doordat niveau  $c$  is verlaagd en dat freatisch grondwater vaker en eerder afstroomt naar het oppervlaktewater. In het geval van ondergrondse waterberging lijkt het verschil in watertekort echter niet significant, aangezien onttrekking uit de ondergrondse zoetwatervoorraad het freatische grondwaterniveau aanvult. Door de eerdere afstroming van grondwater naar oppervlaktewater, kan de ondergrondse zoetwatervoorraad minder (frequent) aangevuld worden door freatisch grondwater en moet eerder en frequenter water worden onttrokken uit de zoetwatervoorraad, waardoor het volume in de zoetwatervoorraad eerder als limiterende factor op zal treden.

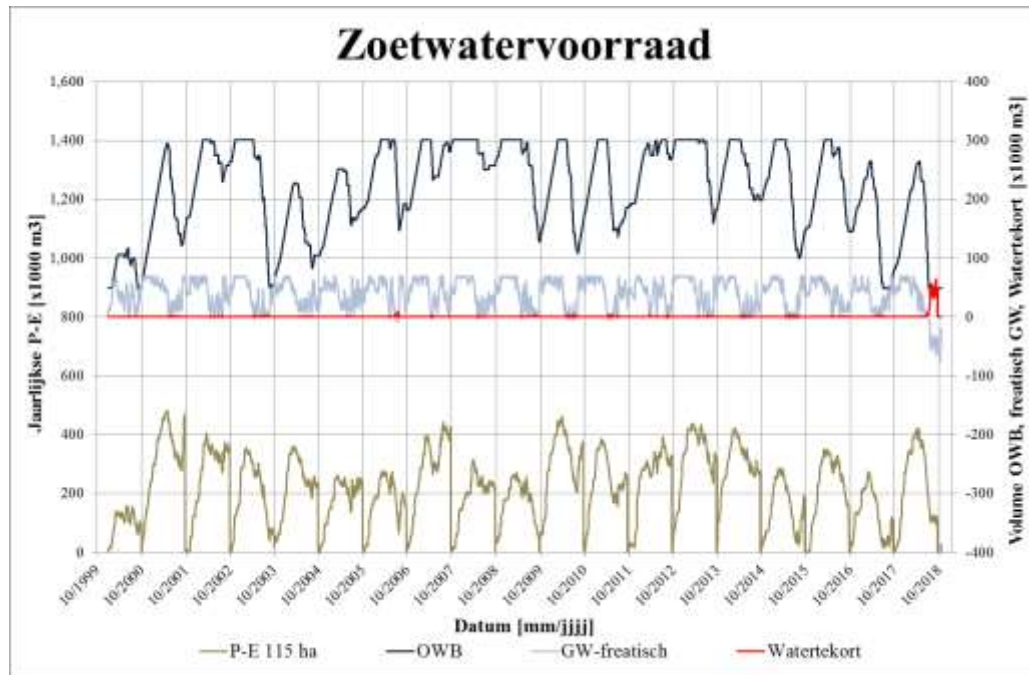
De belangrijkste limiterende factor voor het tekort bij ondergrondse waterberging blijft echter het onttrekkingsdebiet. Er zijn namelijk ook jaren met tekorten terwijl de ondergrondse zoetwatervoorraad niet volledig is benut voor het aanvullen van de irrigatievraag, m.a.w. het minimale volume is niet bereikt.



Figuur 8-2: Tekort aan water in het groeiseizoen met opslag en aanvulling via ondergrondse waterberging. De zoetwatervoorraad in het freatische grondwater en in de ondergrondse waterberging, en het neerslagoverschot (P-E) voor een hydrologisch jaar (1 oktober - 30 september) zijn tevens weergegeven.  $a = 0\text{ m}$ ,  $b = 0,1\text{ m}$ ,  $c = 0,2\text{ m}$ ,  $l = 50\text{ m}^3/\text{u}$ ,  $O = 100\text{ m}^3/\text{u}$ . **Maximale ondergrondse zoetwatervoorraad =  $300.000\text{ m}^3$ .** Het neerslagoverschot start op 1 oktober van ieder jaar weer op  $0\text{ mm}$ .

### II.3 Scenario 5: hoger onttrekkingsdebiet

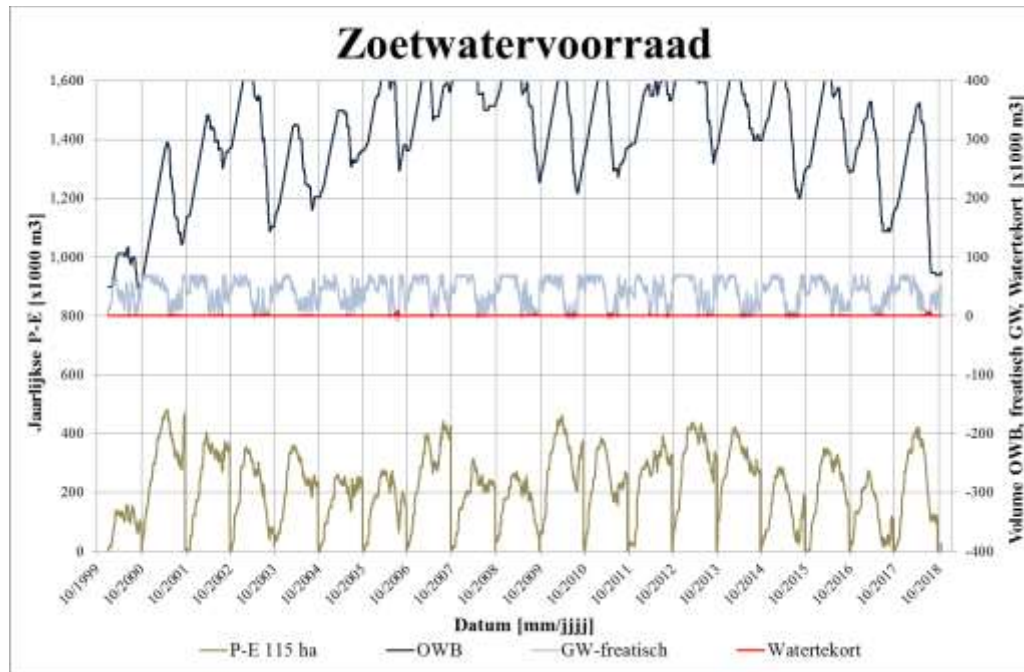
In scenario 5 (Figuur 8-3) wordt opnieuw duidelijk dat bij een hoger onttrekkingsdebiet ( $O = 200 \text{ m}^3/\text{uur}$ ), de jaarlijkse watertekorten sterk reduceren tot maximaal ca.  $65.000 \text{ m}^3/\text{groeiseizoen}$ . Het maximale watertekort wordt in dit geval sterk beïnvloed door het watertekort in het groeiseizoen van 2018, waarin de ondergrondse zoetwatervoorraad onvoldoende toereikend is om het freatisch grondwater tot het gewenste niveau aan te vullen. Gemiddeld is er in een groeiseizoen dan  $41 \text{ m}^3/\text{dag}$  extra water benodigd om te kunnen voldoen aan de watervraag.



Figuur 8-3: Tekort aan water in het groeiseizoen met opslag en aanvulling via ondergrondse waterberging. De zoetwatervoorraad in het freatische grondwater en in de ondergrondse waterberging, en het neerslagoverschot (P-E) voor een hydrologisch jaar (1 oktober - 30 september) zijn tevens weergegeven.  $a = 0 \text{ m}$ ,  $b = 0,1 \text{ m}$ ,  $c = 0,2 \text{ m}$ ,  $I = 50 \text{ m}^3/\text{u}$ ,  $O = 200 \text{ m}^3/\text{u}$ . **Maximale ondergrondse zoetwatervoorraad =  $300.000 \text{ m}^3$ .** Het neerslagoverschot start op 1 oktober van ieder jaar weer op 0 mm.

#### II.4 Scenario 6: grotere opslagcapaciteit

Wanneer het maximale volume van de ondergrondse zoetwaterreservoir wordt vermindert tot  $400.000 \text{ m}^3$ , kan er ook in 2018 worden voldaan aan de irrigatievraag (Figuur 8-4). De vraag blijft echter of dit volume ook daadwerkelijk winbaar is door menging met brak of zout grondwater en oprijving van het zoete grondwater. Het daadwerkelijke maximale opslagvolume moet duidelijk worden met behulp van modelstudies.



Figuur 8-4: Tekort aan water in het groeiseizoen met opslag en aanvulling via ondergrondse waterberging. De zoetwaterreservoir in het freetische grondwater en in de ondergrondse waterberging, en het neerslagoverschot (P-E) voor een hydrologisch jaar (1 oktober - 30 september) zijn tevens weergegeven.  $a = 0 \text{ m}$ ,  $b = 0,1 \text{ m}$ ,  $c = 0,2 \text{ m}$ ,  $l = 50 \text{ m}^3/\text{u}$ ,  $O = 200 \text{ m}^3/\text{u}$ , **Maximale ondergrondse zoetwaterreservoir =  $400.000 \text{ m}^3$** . Het neerslagoverschot start op 1 oktober van ieder jaar weer op  $0 \text{ mm}$ .