



# Precisiewatermanagement op veenweidegrond met pompgestuurde onderwaterdrains

Rapportage onderzoeksperiode 2016-2020

I.E. Hoving, J.W. van Riel, H.T.L. Massop, R.F.A. Hendriks, J.J.H. van den Akker en K. van Houwelingen

Rapport 1293



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH



---

# Precisiewatermanagement op veenweidegrond met pompgestuurde onderwaterdrains

Rapportage onderzoeksperiode 2016-2020

## Auteurs

I.E. Hoving<sup>1</sup>, J.W. van Riel<sup>1</sup>, H.T.L. Massop<sup>2</sup>, R.F.A. Hendriks<sup>2</sup>, J.J.H. van den Akker<sup>2</sup> en K. van Houwelingen<sup>3</sup>

1 Wageningen Livestock Research  
2 Wageningen Environmental Research  
3 Kennis Transfer Centrum (KTC) Zegveld

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en is mogelijk gemaakt door een financiële bijdrage van Veenweiden Innovatiecentrum (VIC), ZuivelNL, provincie Utrecht, provincie Zuid-Holland, Waternet, Wetterskip Fryslân, Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden en het Kennis Basis programma 34: Circulair en Klimaatneutraal Project KB-34-005-001 (Veengebieden in nieuwe circulaire en klimaatpositieve productiesystemen).

Wageningen Livestock Research  
Wageningen, december 2021



Rapport 1293

---

---

Hoving I.E., J.W. van Riel, H.T.L. Massop, R.F.A. Hendriks, J.J.H. van den Akker en K. van Houwelingen, 2021. *Precisiewatermanagement met pompgestuurde onderwaterdrains op veenweidegrond. Rapportage onderzoeksperiode 2016-2020*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1293.

### Samenvatting

In een veldexperiment op proefbedrijf KTC Zegveld (veenweide) is het effect van onderwaterdrains en pompgestuurde onderwaterdrains op de grondwaterstand onderzocht. Onderwaterdrains liggen onder slootpeil en kunnen zowel draineren als infiltreren. Het hoofddoel is infiltratie voor veenbehoud en daarmee een vermindering van maaiveldddaling en reductie van broeikasgassen. Het systeem wordt zodoende ook wel als Water Infiltratie System (WIS) aangeduid. Door de drainbuizen aan te sluiten op een afgesloten waterreservoir, kan met een pomp het drukverschil tussen oppervlaktewater en grondwater vergroot worden, om zo het effect op de grondwaterstand te vergroten. Uit het onderzoek bleek deze zogenaamde pompgestuurde onderwaterdrains zowel de infiltrerende werking als de drainerende werking significant vergrootten. Daarbij werd infiltratie relatief meer bevorderd dan de drainage. In potentie blijft hierdoor de veenbodem natter en dringt minder zuurstof in de bodem, waardoor minder veen afbreekt en de maaiveldddaling en de emissie van de broeikasgassen CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O vermindert.

### Summary

In a field experiment at the experimental farm KTC Zegveld (peat meadow), the effect of submerged drains and pump-controlled submerged drains on the groundwater level was investigated. Submerged drains lie below ditch level and can both drain and infiltrate. The main goal is infiltration for peat conservation and thus a reduction in subsidence and greenhouse gases. Therefore the system is also called Water Infiltration System (WIS). By connecting the drain tubes to a closed water reservoir, the pressure difference between surface water and groundwater can be increased with a pump, in order to increase the effect on the groundwater level. In addition, infiltration was increased relatively more than drainage. The research showed that these so-called pump-controlled submerged increased the infiltrating effect as well as the draining effect. As a result, the peat soil remains wetter and less oxygen penetrates into the soil. Potentially this will cause less peat oxidation and therefore soil subsidence and emission of the greenhouse gases CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/540343> of op [www.wur.nl/livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research) (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2021

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1293

---

# Inhoud

<b>Woord vooraf</b>		<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>		<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Materiaal en methode</b>	<b>12</b>
2.1	Bodemkarakteristiek proeflocatie	12
2.2	Proefopzet	15
2.3	Peilbeheer	17
2.4	Waarnemingen	19
2.5	Neerslagoverschot	20
2.6	GLG en GHG	21
2.7	Draininspectie	21
2.8	Schatting maaiveldddaling en broeikasgasemissie	22
2.9	Statistische analyse grondwaterstanden	24
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>26</b>
3.1	Maaiveldhoogte	26
3.2	Grondwaterstanden	26
3.3	Watergebruik	34
3.4	Botanische samenstelling	36
3.5	Waterkwaliteit	37
3.6	Webapplicatie pompaansturing	40
3.7	Maaiveldddaling en broeikasgasemissies	43
3.8	Draininspectie	44
<b>4</b>	<b>Discussie</b>	<b>48</b>
4.1	Proefopzet	48
4.2	Maaiveldhoogte	48
4.3	Grondwaterstanden	48
4.4	Watergebruik	49
4.5	Botanische samenstelling	49
4.6	Waterkwaliteit	50
4.7	Peilaansturing	50
4.8	Webapplicatie pompaansturing	51
4.9	Maaiveldddaling en broeikasgasemissies	51
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Perspectief</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>Bronnen</b>	<b>56</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Bodeminventarisatie</b>	<b>59</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Schema peilbuizen</b>	<b>63</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Locaties watermonsters</b>	<b>64</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Maaiveldhoogte</b>	<b>65</b>

---

<b>Bijlage 5</b>	<b>Grondwaterstanden</b>	<b>66</b>
<b>Bijlage 6</b>	<b>Modelresultaten analyse grondwaterstanden</b>	<b>70</b>
<b>Bijlage 7</b>	<b>Modelfit per perceel</b>	<b>72</b>
<b>Bijlage 8</b>	<b>Botanische samenstelling</b>	<b>74</b>
<b>Bijlage 9</b>	<b>Webapplicatie Reverse Drain</b>	<b>78</b>

---

# Woord vooraf

In 2016-2017 is een onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van pompgestuurde onderwaterdrains. Dit is een succesvolle ontwikkelstap gebleken in het toepassen van onderwaterdrains en het kunnen verhogen van de grondwaterstand in de zomer. Het verhogen van de zomergrondwaterstand is essentieel in het verminderen van veenafbraak en daarmee maaiveld daling en CO<sub>2</sub>-emissie. In 2018 is het onderzoek vervolgd en voortgezet tot en met 2020. In het voorliggende rapport staan de resultaten van het onderzoek naar pompgestuurde onderwaterdrains voor wat betreft de effecten op de grondwaterstand en de waterkwaliteit van het oppervlaktewater voor de gehele onderzoeksperiode van 2016 tot en met 2020.

Belangrijke vragen in het onderzoek waren of met pompgestuurde onderwaterdrains de werking van onderwaterdrains versterkt kon worden en in hoeverre de werking afhankelijk was van het slootpeil. Met de verlenging van de onderzoeksperiode van drie jaar kon een betrouwbaardere uitspraak gedaan worden over de werking en is meer ervaring opgedaan met de aansturing van het systeem. Verder was een belangrijk deel van het onderzoek gericht op het ontwikkelen van een webapplicatie die inzicht geeft in het 'slim' kunnen sturen op een grondwaterstand en bodemvochttoestand waarbij de draagkracht van de graszode nog juist voldoende is en de veenafbraak tot een minimum te beperken.

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Veenweiden Innovatiecentrum, ZuivelNL, provincie Utrecht, provincie Zuid-Holland, Waternet, Wetterskip Fryslân en Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden. Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met melkveeproefbedrijf KTC Zegveld en Wageningen Environmental Research. De statistische analyse is uitgevoerd vanuit het Kennis Basis programma 34: Circulair en Klimaatneutraal Project KB-34-005-001 (Veengebieden in nieuwe circulaire en klimaatpositieve productiesystemen), zodat met de afgeleide relaties de resultaten breed vertaald kunnen worden naar de praktijk. Met dit rapport streven we er naar een bijdrage te leveren aan perspectievolle maatregelen voor melkveehouders om de melkveehouderij op veengrond te kunnen verduurzamen.

Dr. drs. I.D. de Wolf  
Afdelingshoofd Veehouderij & Omgeving, Wageningen Livestock Research





---

# Samenvatting

Onderwaterdrains liggen onder slootpeil en kunnen zowel water aan- als afvoeren in de bodem van veenweidepercelen. De werking is echter sterk afhankelijk van het drukverschil tussen oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand. Door de drainbuizen via een verzamelbuis aan te sluiten op een waterreservoir, afgesloten van de sloot, kan met een pomp het drukverschil tussen oppervlaktewater en grondwater vergroot of verkleind worden, om zo het effect op de grondwaterstand te vergroten en deze zo goed mogelijk op een streefgrondwaterstand te houden.

Hogere grondwaterstanden in de zomer geven minder zuurstofindringing in de bodem en daarmee minder veenafbraak. Met deze vorm van precisiewatermanagement wordt beoogd de maaivelddaling en CO<sub>2</sub>-emissie te verminderen, de draagkracht van de graszode te verbeteren en de grasbenutting te verhogen.

Op KTC Zegveld is in 2016-2020 een veldexperiment uitgevoerd met als doel te zien of pompgestuurde onderwaterdrains effect hebben op de grondwaterstand en de hoeveelheid aan- en afvoer van water. Het onderzoek is uitgevoerd bij een hoog slootpeil van 20 cm en een lager slootpeil van 55 cm beneden maaiveld. Binnen het hoge en lage slootwaterpeilregime zijn de behandelingen *Pompgestuurde onderwaterdrains* en *Onderwaterdrains op de sloot* vergeleken met een situatie waarbij de drains waren uitgeschakeld, de *Referentie*. De drainafstand bedroeg 6 m. Tevens is een webapplicatie ontwikkeld die de aansturing van het systeem ondersteunt en onnodig in- uitpompen van water kan voorkomen.

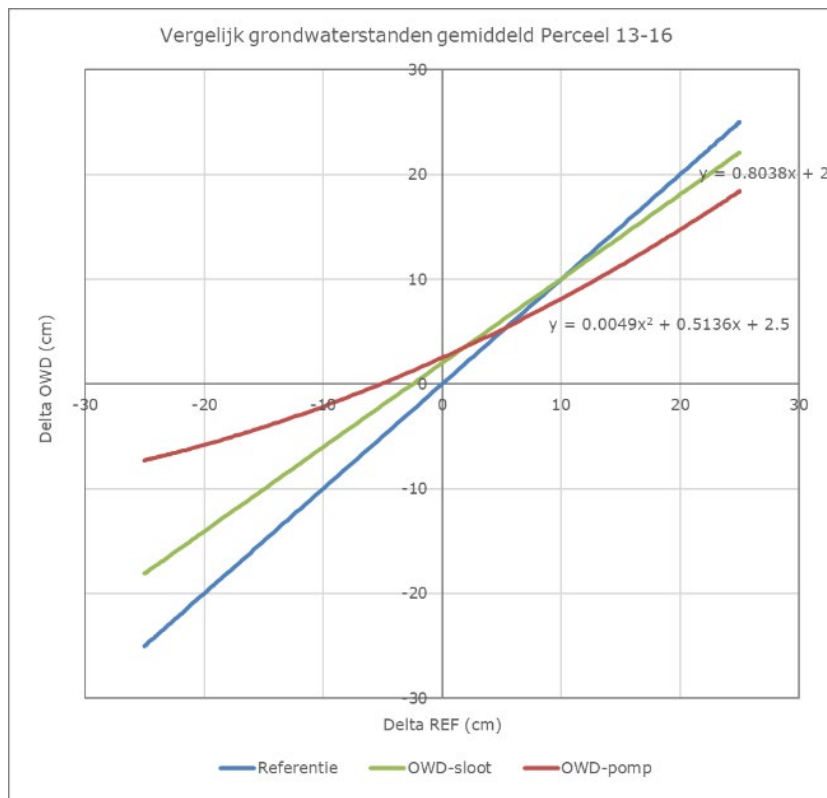
In de reeks van vijf proefjaren hadden zowel *Pompgestuurde onderwaterdrains* als *Onderwaterdrains op de sloot* zowel een infiltrerend als drainerend effect. Daarbij was het infiltrerende effect van *Pompgestuurde onderwaterdrains* aanmerkelijk groter dan bij *Onderwaterdrains op de sloot*. Het effect van de drainbehandelingen op de grondwaterstand was significant verschillend van de *Referentie*. Het effect van *Pompgestuurde onderwaterdrains* was significant groter dan van *Onderwaterdrains op de sloot*. Door de extra infiltratie in de zomer dragen onderwaterdrains bij aan verlaging van bodemdaling en broeikasgasemissies, waarbij *Pompgestuurde onderwaterdrains* het meest effectief waren. Tegen de verwachting in had het hoge slootpeil geen significant verhogend effect op de grondwaterstand bij *Onderwaterdrains op de sloot*, door relatief grote verschillen in infiltratiesnelheid en zomergrondwaterstand van de *Referentie* tussen proefpercelen.

Het verloop van de grondwaterstanden van de onderzoeksobjecten is statistisch geanalyseerd om het effect van onderwaterdrains op de grondwaterstand ten opzichte van de *Referentie* te kunnen toetsen en te kwantificeren. De analyse is uitgevoerd op perceelsbasis en leverde relaties op waarmee per drainbehandeling het verschil in grondwaterstand geschat kan worden ten opzichte van de bijbehorende referentie. De gemiddelde grondwaterstand van de *Referentie* over de gehele onderzoeksperiode (2016-2020) is daarbij als normatief niveau gekozen. Het verschil tussen de gemiddelde grondwaterstanden per meetdatum van de *Referentie* en het normatieve niveau (Delta REF) en het verschil tussen de gemiddelde grondwaterstanden per meetdatum van de afzonderlijke drainbehandelingen en het normatieve niveau (Delta OWD) zijn paarsgewijs vergeleken en dat leverde voor *Onderwaterdrains op de sloot* lineaire relaties en voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* 2<sup>e</sup>-orde polynoom relaties op. Daarbij geeft de kwadratische term de extra afwijking (infiltratie) van de grondwaterstand in het zomerhalfjaar weer en deze was niet verschillend voor de proefpercelen.

Uiteindelijk karakteriseert de lineaire parameter van de functies het effect op de grondwaterstand het best; des te kleiner het getal des te groter het effect. Het percentage verklaarde variantie (R<sup>2</sup>) voor de paarsgewijze analyse van de grondwaterstanden was 98 %.

Om het verschil tussen de drainbehandelingen en de *Referentie* volgens de modellering te illustreren, is in Figuur 1 Delta OWD uitgezet tegen Delta REF, gemiddeld voor de vier proefpercelen. Het modelbereik voor Delta Ref en Delta OWD is gesteld op +25 cm tot -25 cm, omdat extrapoleren met waarden > 25 cm voor Delta Ref risico geeft op onbetrouwbare resultaten. Een getallenvoorbeeld is als volgt: wanneer de

grondwaterstand van de *Referentie* 20 cm lager is dan het gemiddelde normatieve referentieniveau, dan is de grondwaterstand voor *Onderwaterdrains op de sloot* en *Pompgestuurde onderwaterdrains* respectievelijk 18 en 15 cm lager dan het gemiddelde normatieve referentieniveau.



**Figuur 1** Delta REF uitgezet tegen Delta OWD ter illustratie van de gemodelleerde verschillen tussen *Onderwaterdrains op de sloot* (OWD-sloot, groen), *Pompgestuurde onderwaterdrains* (OWD-pomp, rood) en de *Referentie* (blauw), gemiddeld voor de proefpercelen 13-16. Het modelbereik voor Delta Ref en Delta OWD is gesteld op +25 cm tot -25 cm. Extrapoleren met waarden > 25 cm voor Delta Ref geeft risico op onbetrouwbare resultaten.

Gemiddeld over de proefpercelen verkleinde *Onderwaterdrains op de sloot* het verschil in grondwaterstanden ten opzichte van het normatieve gemiddelde niveau met 20% en *Pompgestuurde onderwaterdrains* met 49%. Voor *Onderwaterdrains op de sloot* was de verlaging in de zomer en winter gelijk en voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* was de verkleining in de zomer verhoudingsgewijs hoger dan in de winter door extra infiltratie (kwadratische term in de relatie). De gemiddelde grondwaterstand lag bij de *Pompgestuurde onderwaterdrains* 2,5 cm en bij *Onderwaterdrains op de sloot* 2 cm hoger dan de gemiddelde grondwaterstand van de *Referentie*.

Per dag werd bij het lage slootpeil gemiddeld over de proefperiode 2,8 keer zoveel water ingepompt en 1,1 keer zoveel water uitgedompt als bij een hoge slootpeil. Om bij infiltreren verlies van water naar aangrenzende sloten te voorkomen, dient het slootpeil ingesteld te worden op de gemiddelde gewenste grondwaterstand (streefpeil).

Een oriënterende bemonstering op de waterkwaliteit liet vooral voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* een toename zien van P en N-totaal en een afname van sulfaat. De lagere sulfaatconcentraties zijn een indicatie voor een verminderde intree van lucht met zuurstof in de veenbodem en daarmee verminderde pyrietoxidatie en veenafbraak.

Met de ontwikkelde webapplicatie (werknaam Reverse Drain) is 'slim' sturen op CO<sub>2</sub> en draagkracht beperkt getest. Het lijkt perspectiefvol om hiermee onnodig water aan- of afvoeren te voorkomen. De applicatie is als prototype beschikbaar en berekent een verschil in de infiltrerende werking van onderwaterdrains, pompgestuurde onderwaterdrains en greppels.

---

De werking van de *Pompgestuurde onderwaterdrains* geeft veel perspectief voor het verder kunnen reduceren van maaiveldaling en CO<sub>2</sub>-emissie. Een berekende schatting van de reductie op basis van de GLG (hydrologische parameter gemiddeld laagste grondwaterstand) voor maaiveldaling en CO<sub>2</sub>-emissie bedroeg 28-62 % ten opzichte van de *Referentie*. Voor *Onderwaterdrains op de sloot* was de geschatte reductie -1-38 %. De spreiding tussen de geschatte reducties was groot door verschillen tussen de proefpercelen in infiltratiesnelheid en de GLG 's van de *Referentie*. Met een nauwere drainafstand van 4 m in plaats van 6 m kan de reductie van maaiveldaling en emissies vergroot worden.

Onderwaterdrains en *pompgestuurde onderwaterdrains* bleken gevoelig voor slibophoping in drainbuizen en waterreservoirs en lucht in de drains. Ondanks deze constatering bleek uit de metingen (nog) geen verminderde effectiviteit van het systeem. Aangezien de aanleg van onderwaterdrains een hoge investering vraagt (zeker wanneer deze pompgestuurd zijn) en deze gevoelig zijn voor vervuiling, pleit dit voor het doelgericht inzetten van de drains, met een zorgvuldige aansturing en controle van het systeem. Daarbij moet worden voorkomen dat het baggerniveau in de sloot te hoog wordt of dat bagger in het waterreservoir en infiltratiesysteem wordt gepompt, door voorzieningen bij de inlaat. Om te voorkomen dat lucht in het infiltratiesysteem komt, mag het waterpeil in de sloot of het reservoir nooit onder de bovenkant van het infiltratiesysteem komen.

---

# 1 Inleiding

Onderwaterdrains worden door waterschappen en provincies als een concrete oplossing gezien voor het verminderen van CO<sub>2</sub>-emissie en maaiveldaling op veengrond in Nederland. Veldexperimenten hebben aangetoond dat bij toepassing van onderwaterdrains het grondwaterstandsverloop significant vlakker is (Hoving et al., 2008, 2013 en 2015; Van den Akker et al., 2013; Hendriks et al., 2013). Dit is gunstig voor het verminderen van maaiveldaling en CO<sub>2</sub>-emissie en het vergroot de gebruiksmogelijkheden van grasland. De werking is echter sterk afhankelijk van de drooglegging. Relatief hoge slootpeilen vergroten de infiltratie en relatief lage slootpeilen vergroten de drainage. Het hoofddoel van het toepassen van onderwaterdrains is infiltratie voor veenbehoud en zodoende wordt het systeem ook wel als Water Infiltratie System (WIS) aangeduid.

Met pompgestuurde onderwaterdrains kan het effect van onderwaterdrains aanzienlijk worden versterkt zonder het slootpeil aan te hoeven passen. Hierbij zijn de drains aangesloten op een waterreservoir en staan deze niet meer rechtstreeks in verbinding met een sloot. Doordat het waterreservoir tot boven het maaiveld uitsteekt en tot onder het drainniveau reikt, kan met het instellen van een peil in het waterreservoir een groter potentiaalverschil met de grondwaterstand worden bereikt dan met het slootpeil. De geschetste innovatie is in een veldexperiment op melkveeproefbedrijf KTC Zegveld getest in de jaren 2016-2020. De resultaten van de eerste onderzoeksfase 2016-2017 staan beschreven in Hoving et al. (2018). Om de werking van pompgestuurde onderwaterdrains verder te testen is op het melkveeproefbedrijf KTC Zegveld het veldexperiment uit 2016-2017 in 2018-2020 gecontinueerd. In het voorliggende rapport staan de resultaten de gehele onderzoeksperiode (2016-2020) voor wat betreft de gemeten effecten op de grondwaterstand, botanische samenstelling, het watergebruik en waterkwaliteit en de geschatte effecten op maaiveldaling en broeikasgasemissie.

Het onderzoek had als belangrijkste doel om te zien of onderwaterdrains met pompaansturing effect heeft op het grondwaterstandsverloop en om de aan- en afvoer van water (zover mogelijk) te kwantificeren. Het onderzoek is uitgevoerd bij een hoog slootpeil van 20 cm beneden maaiveld en een lager slootpeil van 55 cm beneden maaiveld. De drainafstand bedroeg 6 m. Binnen het hoge en lage slootwaterpeilregime is gekeken hoe de grondwaterstanden van pompgestuurde onderwaterdrains zich verhouden tot een ongedraineerde situatie en gangbare onderwaterdrains op de sloot.

De eerste onderzoeksperiode (2016-2018) wees uit dat zowel het infiltrerende als het drainerende effect van pompgestuurde onderwaterdrains aanmerkelijk groter was dan bij onderwaterdrains op de sloot. Het resultaat van de pompaansturing was onafhankelijk van het slootpeil, in tegenstelling tot onderwaterdrains op de sloot. De wateraanvoer was echter bij het lage slootpeil 2,5 keer groter dan bij een hoog slootpeil, doordat water werd rondgepompt vanuit de sloot in het waterreservoir, via de onderwaterdrains en de bodem terug naar de sloot omdat het slootpeil lager was dan het streefpeil voor de grondwaterstand. De waterafvoer was nagenoeg gelijk. Het verschil in wateraanvoer zegt hierbij niets over de watervraag van een perceel, maar over de mate waarin het aangevoerde water terugstroomt naar de sloot.

Geconcludeerd werd dat de werking van de pompgestuurde onderwaterdrains veel perspectief geeft voor het verder kunnen reduceren van maaiveldaling en emissie van broeikasgassen CO<sub>2</sub>-en N<sub>2</sub>O. Om de maaiveldaling en broeikasgasemissie fors terug te brengen is echter scherp sturen op de grondwaterstand noodzakelijk. De grondwaterstand zou leidend moeten zijn in het watermanagement. Dit vraagt om inzicht in de actuele grondwaterstand, de weersverwachting en de vochttoestand van de bovengrond. Hiertoe is een webapplicatie ontwikkeld die deze factoren inzichtelijk maakt en waarmee de pomp op afstand automatisch aan te sturen is. Deze applicatie laat zien wanneer de bovengrond relatief nat is met een onvoldoende draagkracht en wanneer de bodem relatief droog is en broeikasgasemissie toeneemt door indringing van zuurstof in de bodem. De webapplicatie is getest en als prototype beschikbaar en kan helpen om onnodig water aan- of af te voeren voorkomen.

---

In dit rapport staan de resultaten van het veldexperiment 2016-2020 beschreven en zijn de effecten op de grondwaterstanden statistisch geanalyseerd. Met deze onderbouwing en de discussie van de resultaten kon met grotere zekerheid de toegevoegde waarde van het toepassen van onderwaterdrains in de praktijk als vernattingsmaatregel worden geded.

## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Bodemkarakteristiek proeflocatie

De bodemgesteldheid van de proeflocatie Zegveld wordt globaal weergegeven op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000 (Blad 32 West Utrecht) en op de bodemkaart veengebieden provincie Utrecht, schaal 1:25 000 (Stouthamer et al., 2008). De bodem betreft een Koopveengrond met als onderverdeling een mesotroof broekveen (kaartenheid hVb op Bodemkaart van Nederland). De bodem bestaat hoofdzakelijk uit matig voedselrijke broekveengrond, met een kleiige moerige bovengrond. In de ondergrond komen veel houtresten in de vorm van boomstobben en takken (kienhout) voor. De bodemopbouw in Zegveld is in detail beschreven in een profielkuil die op perceel 2 is gegraven. In Tabel 1 staat de beschrijving van de bodemopbouw weergegeven. Het veenpakket (Formatie van Nieuwkoop) is circa 6 meter dik; daaronder liggen pleistocene zandafzettingen (Pleijter en Van den Akker, 2007).

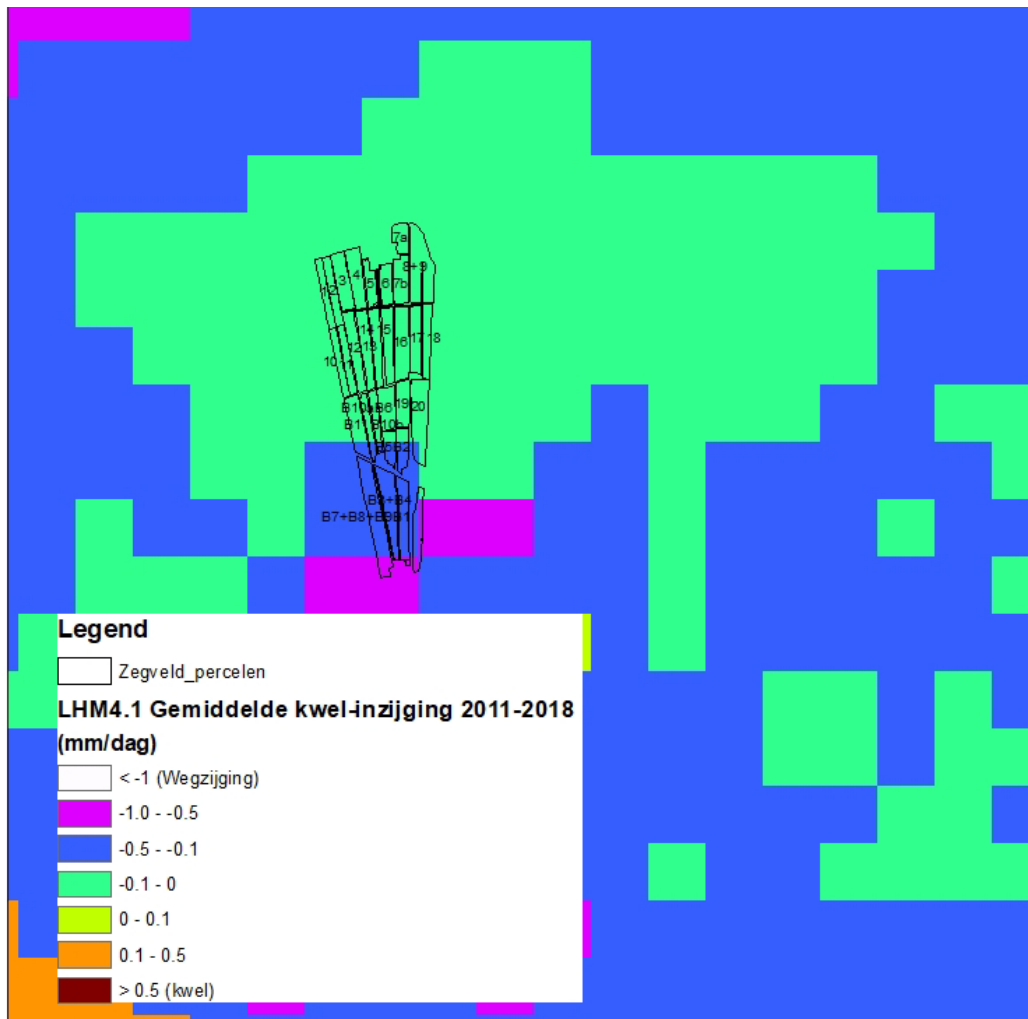
**Tabel 1** Profielbeschrijving van perceel 2 op KTC Zegveld (Uit: Pleijter en Van den Akker, 2007).  
Foto: Gert Peek (Wageningen-UR)

Horizont	Diepte		Org. stof %	< 2 um %	Omschrijving
	Begin	Eind			
1 Ah	0	15	35	22	Donkerbruin grijs kleiig veen, met enkele zandkorreltjes en roestvlekken
2Cw	15	24	35	22	Zwart, veraard, kleiig veen
2 Cu	24	57	55		Grotendeels veraard, zwart zeggeveen
2 Cr	57	80	65		Bruin, gereduceerd, mesotroof broekveen, veel houtresten
2 Cr	80	120	75		Roodbruin gereduceerd mesotroof broekveen

Ter voorbereiding van het onderzoek is een bodeminventarisatie uitgevoerd op proefperceel 13, 14, 15 en 16 van KTC Zegveld om te zien of de percelen voor wat betreft bodem en grondwaterdynamiek vergelijkbaar en voldoende homogeen waren. De betreffende proefpercelen hebben een grondwatertrap (Gt) II, waarbij de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) hoger is dan 40 cm beneden maaiveld en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) 50 à 80 cm beneden maaiveld bedraagt. Voor het bepalen van de drainafstand is de horizontale bodemweerstand bepaald door middel van de zogenaamde boorgatmethode.

#### Kwel/wegzijging

Door het toepassen van onderwaterdrains (al of niet pompgestuurd) wordt de grondwaterstand beïnvloed en dit kan tot extra waterverlies bij wegzijging of een afname van kwel leiden. In Figuur 2.1. staat een detail van de kwelkaart op basis van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM), waarin de percelen van proefbedrijf KTC Zegveld staan weergegeven. Voor de proefpercelen 13-16 wordt uitgegaan van een lichte wegzijging van 0-0,1 mm per dag.



**Figuur 2.1** Detail kwelkaart op basis van het LHM met daarin aangegeven de percelen van proefbedrijf KTC Zegveld. Voor de proefpercelen 13-16 bedraagt de gemiddelde kwel/wegzijing 0-0,1 mm per dag.

#### Boorgatmetingen

Op 14 maart 2016 zijn op de proefpercelen 13-16, telkens op 2 locaties boorgatmetingen uitgevoerd om de doorlatendheid (k-waarde) te bepalen. De k-waarde is een indicatieve maat voor de horizontale doorlatendheid van het bovenste deel van het bodempakket dat meedoet aan de stroming naar de drain. De bepaling is vooral gedaan als relatieve maat ter vergelijking van de behandelingenobjecten en niet om hiermee een drainageweerstand te berekenen.

De locaties op KTC Zegveld waar het boorgatenonderzoek is uitgevoerd staan in Figuur 2.2. Om de uitgangsgroundwaterstand te bepalen zijn vooraf op de locaties geperforeerde peilfilters geplaatst. Bij elke locatie zijn twee boorgaten gemaakt waarin een of twee metingen zijn uitgevoerd. Er is steeds gemeten met een geperforeerd filter zodat de vlotter vrij kon bewegen.



**Figuur 2.2** Locaties boorgatenonderzoek KTC Zegveld op 14 maart 2016.

De resultaten van de boorgatmetingen voor wat betreft de horizontale doorlatendheid van de bodem (k-waarde) staan in Tabel 2.

**Tabel 2** Gemiddelde horizontale doorlatendheid van de bodem ( $k$ -waarde in  $m \cdot dag^{-1}$ ) en de coördinaten per meetlocatie.

Locatie	Gemiddeld	Coördinaten (m)	
		x-coördinaat	y-coördinaat
13_a	0.15	117384	460927
13_v	0.04	117352	461120
14_a	0.20	117416	460996
14_v	0.07	117414	461139
15_a	0.12	117479	460932
15_v	0.22	117464	461152
16_a	0.46	117540	460997
16_v	0.47	117522	461126
Gemiddeld	0.22		
Mediaan	0.17		

Tussen de meetlocaties bleek de variatie in  $k$ -waarden relatief groot. Op perceel 16 werden de grootste  $k$ -waarden gemeten, ca 0,46 m per dag. De laagste waarden zijn gevonden aan de noordzijde van perceel 13 en 14, respectievelijk 0,04 en 0,07 m per dag. Voor de overige locaties varieert de  $k$ -waarde tussen 0,11 en 0,22 m per dag. Door de variatie in  $k$ -waarden kan de infiltratie per proefperceel verschillen. Uitgaande van de mediane  $k$ -waarde is de drainafstand van 6 m net niet voldoende om bij een uitholling van 10 cm een infiltratie van 3 mm per dag te realiseren. Met 3 mm per dag wordt gemiddeld de gewasverdamping grotendeels gecompenseerd. Als de eis met betrekking tot de uitholling op 0,15 m gesteld wordt, dan is 6 m wel voldoende. Door variatie in  $k$ -waarden verschilt mogelijk de infiltratie per locatie.

De drainage is aangelegd met een drainafstand van 6 m met een draindiepte van 65-70 cm beneden maaiveld op de proefpercelen met een hoog slootpeil (perceel 13 en 14) en een draindiepte van 70-75 cm beneden maaiveld op de percelen met een laag slootpeil (perceel 15 en 16).



---

Om het effect van eventuele fouten in de boorgatwaarnemingen op de k-waarde te onderzoeken is een beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De mediane k-waarden van de gevoeligheidsanalyse staan in Bijlage 1, evenals de uitgangspunten van het drainageadvies.

## 2.2 Proefopzet

### *Behandelingen en inrichting proefpercelen*

Op KTC Zegveld is in het voorjaar van 2016 een veldproef met twee toepassingen van onderwaterdrains aangelegd op perceel 13, 14, 15 en 16. In de proef werd de toepassing van pompgestuurde onderwaterdrains binnen een perceel vergeleken met gangbare onderwaterdrains op de sloot en een uitgangssituatie zonder onderwaterdrains. De proef is uitgevoerd in tweevoud bij een vast hoog (perceel 13 en 14) en een vast laag slootpeilregime (perceel 15 en 16). Per slootpeilregime werd dus gebruik gemaakt van twee proefpercelen. In Figuur 2.3 staat een plattegrond van de proefpercelen en de behandelingen.

Samengevat waren de behandelingen in de veldproef als volgt:

#### Hoofdbehandelingen

1. Vast hoog slootpeil, drooglegging van 20 cm beneden maaiveld (perceel 13 en 14)
2. Vast laag slootpeil, drooglegging van 55 cm beneden maaiveld (perceel 15 en 16)

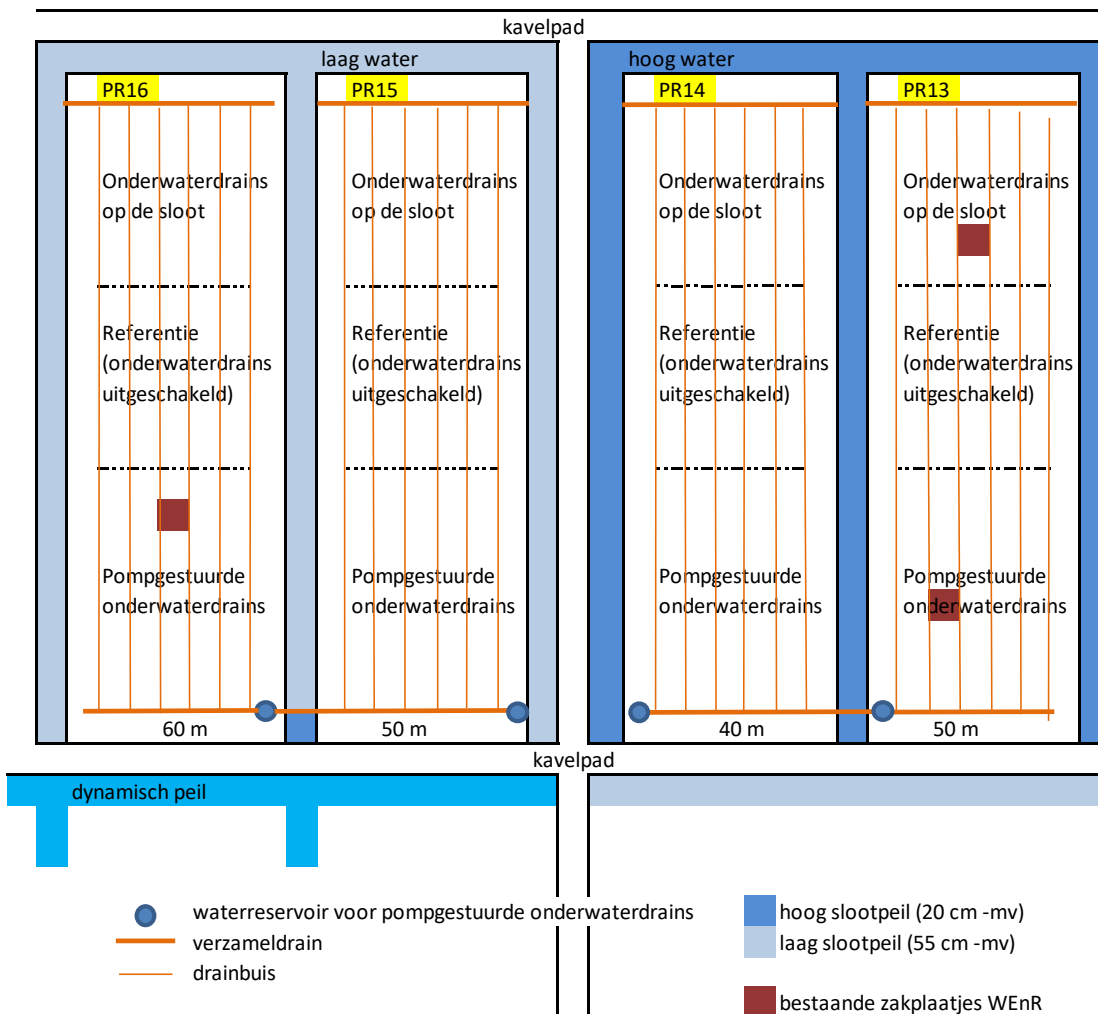
#### Subbehandelingen

- a) Geen onderwaterdrains (*Referentie*)
- b) Gangbare onderwaterdrains (*Onderwaterdrains op de sloot*)
- c) Onderwaterdrains met pompaansturing (*Pompgestuurde onderwaterdrains*)

De proefpercelen zijn in de lengterichting gedraineerd met een drainafstand van 6 m. De ongedraineerde behandeling werd gerealiseerd door in het midden van de percelen de drains op twee plaatsen te onderbreken. Verondersteld werd dat tussen de onderbrekingen de drains niet werkten. Dit betrof de behandeling *Referentie*.

De drains aan de zuidzijde van de percelen zijn via een verzameldrain op de belendende sloten aangesloten. Dit betrof de behandeling *Onderwaterdrains op de sloot*. De drains aan de noordzijde van de percelen waren via een verzameldrain op de waterputten aangesloten. Dit betrof de behandeling *Pompgestuurde onderwaterdrains*. De greppels in de percelen zijn ongedaan gemaakt door deze met grond op te vullen, zodat deze de vochthuishouding niet konden beïnvloeden. Alleen op perceel PR13 is de greppel in stand gehouden, omdat anders bij grote neerslaghoeveelheden het perceel blank zou komen te staan.

De fysieke locaties van de subbehandelingen binnen een proefperceel zijn in de verdere tekst als behandelingsobjecten aangeduid.



**Figuur 2.3** Schematische schets inrichting proefpercelen (13–16) met de behandelingen (1) Geen onderwaterdrains, (2) Onderwaterdrains op de sloot en (4) Pompgestuurde onderwaterdrains bij een hoog en een laag slootpeil van respectievelijk 20 en 55 cm beneden maaiveld.

Idealiter zouden de k-waarden binnen de percelen gelijk moeten zijn, echter dit was niet het geval (zie vorige paragraaf) en is in de praktijk ook lastig te realiseren gezien de variatie tussen en binnen percelen. De situering van de twee peilniveaus en de aanwezigheid van elektriciteit maakten dat de betreffende percelen het meest geschikt waren voor het uitvoeren van het onderzoek. Vooral de relatief lage k-waarden aan de noordzijde van perceel 13 en 14 en de zuidzijde van perceel 15 zouden beperkend kunnen zijn. Op perceel 13 en 14 zijn de *Pompgestuurde onderwaterdrains* aangelegd aan de noordzijde, dus het gedeelte met de lage k-waarden. Aangezien met de pompvoorziening in potentie de werking van de onderwaterdrains vergroot, waren de lage k-waarden waarschijnlijk minder beperkend. Op perceel 15 waren de relatief lage k-waarden in het nadeel van de *Onderwaterdrains op de sloot*.

#### Aanleg waterreservoirs

Om in *Pompgestuurde onderwaterdrains* het peil onafhankelijk van het slootpeil te kunnen regelen, zijn de onderwaterdrains via een verzameldrain aangesloten op een afgesloten waterreservoir. De onderkant van de reservoirs lag ongeveer een meter onder het maaiveld en de bovenkant stak ongeveer 1,2 m boven het maaiveld uit. Per slootpeilregime waren twee waterreservoirs geplaatst die via een collectordrain met elkaar verbonden waren. Per slootpeilregime was één van beide waterreservoir voorzien van een pomp om water in te laten en een pomp om water uit te laten (waterreservoir op perceel 14 en 15). Met de niet gebruikte

---

waterreservoirs kan eventueel na afloop van het onderzoek een verschillend peilregime per perceel gehanteerd worden.

De pompen waren voorzien van een capaciteitsmeter om het aantal kuubs in- en uitgaand water te kunnen registreren. Het waterpeil werd gemeten met een automatische hoogtemeter die op afstand uit te lezen is (zie paragraaf 2.3). Figuur 2.4 toont een de waterreservoirs met pomp en automatische hoogtemeter.



**Figuur 2.4** Conceptuele opstelling van een waterreservoir met pomp en automatische hoogtemeting van het waterpeil in het reservoir voor toepassing van Pompgestuurde onderwaterdrains. De onderwaterdrains zijn via een verzameldrain op het reservoir aangesloten.

## 2.3 Peilbeheer

Het streefpeil voor de grondwaterstand voor de *Pompgestuurde onderwaterdrains* was ongeveer 40 cm beneden maaiveld, zoals dit is vastgesteld in een eerder onderzoek naar de toepassing van dynamisch peilbeheer (Hoving *et al.*, 2013). Om het grondwaterpeil te verhogen werd het peil in het waterreservoir opgezet en om het grondwaterpeil te verlagen werd het peil in het waterreservoir verlaagd. Doordat de waterreservoirs boven het maaiveld uitstaken, kon het peil tot aan het maaiveld of zelfs hoger ingesteld worden.

### *Besliscriteria*

De hoogte van het peil werd bepaald op basis van weersverwachting en de actuele grondwaterstand. Het monitoren van de grondwaterstand vond plaats door middel van dagelijkse handmatige metingen in drie referentiepeilbuizen. De grondwaterstand wordt beïnvloed door neerslag, gewasverdamping en de mate van kwel of wegzijging. Neerslag heeft de meest directe invloed en daarom is naast de actuele grondwaterstand ook de neerslagverwachting als besliscriterium gehanteerd. In Tabel 3 staat de werkwijze voor het aan- en afvoeren van water. Voor de aanvoer is onderscheid gemaakt in twee standen en bij de afvoer werd het peil maximaal verlaagd tot 70 cm beneden maaiveld. Hierbij moet worden opgemerkt dat, achteraf gezien, het waterpeil in het reservoir soms onbedoeld onder de draindiepte is gekomen, waardoor lucht in het infiltratiesysteem is gekomen. Dit zal het functioneren van het systeem wat betreft infiltreren en draineren in onbekende mate negatief beïnvloed hebben.

**Tabel 3** Peilregime Pompgestuurde onderwaterdrains afhankelijk van de verwachte neerslag en de actuele grondwaterstand, zoals dat in het onderzoek op KTC Zegveld gehanteerd is.

Verwachte neerslag komende 3 dagen (mm)	Actuele grondwaterstand (cm)				
	< 30	31-35	36-40	41-45	> 45
0	AFVOER <sup>1)</sup>	0	AANVOER-1 <sup>2)</sup>	AANVOER-2 <sup>3)</sup>	AANVOER-2
0-10 mm	AFVOER	AFVOER	0	AANVOER-1	AANVOER-2
10-25 mm	AFVOER	AFVOER	AFVOER	0	AANVOER-1
>25 mm	AFVOER	AFVOER	AFVOER	AFVOER	0

<sup>1)</sup> AFVOER            draineren peil 70 cm onder maaiveld  
<sup>2)</sup> AANVOER-1        infiltreren peil 10 cm onder maaiveld  
<sup>3)</sup> AANVOER-2        infiltreren peil gelijk aan maaiveld

Gedurende het project is de aansturing van de pompen geautomatiseerd door met een webapplicatie de pompen op afstand aan te kunnen sturen (zie paragraaf 3.6).

#### Hardware

Voor de uitvoering van het peilbeheer werden de waterreservoirs op perceel 14 en 15 voorzien van twee pompen; één pomp voor de aanvoer van water vanuit de sloot (infiltratie) en één pomp voor afvoer van water vanuit het reservoir (drainage). Voor de aansturing van de pompen is een voorziening ontwikkeld om het waterpeil in het waterreservoir te meten, zodat met peilmarges gewerkt kon worden om de pompen gericht aan en af te kunnen laten slaan. Deze peilmarges zijn instelbaar zodat een maximum- en minimumwaterpeil opgegeven kan worden. Het meten van het waterpeil gebeurde met een ultrasoonsensor (zie Figuur 2.5).



**Figuur 2.5** Ultrasoonsensor (de witte naar beneden gerichte pijp) voor het meten van het waterpeil in het waterreservoir.

#### Software

Aanvankelijk werd het maximum- en minimum waterpeil handmatig op de pompen (dus op locatie) ingegeven. In de loop van het project is hier een automatische voorziening voor geprogrammeerd in de vorm van een webapplicatie (zie paragraaf 3.6), welke het mogelijk maakte om op afstand de pompen aan te sturen. Het interface van het programma voorzag in een keuzemenu voor het instellen van peilmarges voor aan- en af voeren van water, respectievelijk infiltreren en draineren, conform Tabel 2 waarin het peilregime staat gedefinieerd. De webapplicatie gaf tevens inzicht in de actuele en voorspelde bodemvochttoestand en grondwaterstand, zodat hier met de peilaansturing op geanticipeerd kon worden.

---

## 2.4 Waarnemingen

### Grondwaterstanden

De grondwaterstanden werden wekelijks handmatig gemeten in een groot aantal peilbuizen verspreid over de behandelingen om de ruimtelijke variatie in de metingen mee te kunnen nemen.

Alle buizen waren midden tussen de drainbuizen geplaatst, dus halverwege de drainafstand. De buizen waren niet gefundeerd en bewogen dus mee met het maaiveld. De peilbuizen werden beschermd door een tegel die in de graszode was aangebracht. De tegels waren voorzien van een gat om met een meetlint de grondwaterstand in de peilbuis te kunnen meten.

Op de behandelingsobjecten *Referentie* en *Onderwaterdrains op de sloot* waren elk 9 peilbuizen en op de *Pompgestuurde onderwaterdrains* waren 18 peilbuizen geplaatst, omdat de oppervlakte van deze behandeling groter was. Per perceel waren de buizen in drie lengteraaien geplaatst, op respectievelijk één-derde, de helft en tweederde van de perceelsbreedte. De grondwaterstanden werden gemeten ten opzichte van het maaiveld. Zie Bijlage 2 voor een schematisch overzicht van de plaatsing van de peilbuizen.

Voor het peilbeheer van de *Pompgestuurde onderwaterdrains* werd dagelijks op perceel 14 en 15 de grondwaterstand gemeten in de eerste peilbuis van de drie meetraaien (gerekend vanaf het proefbedrijf) op de behandeling *Pompgestuurde onderwaterdrains*.

### Maaiveldhoogte

De maaiveldhoogte is gemeten door met een waterpasinstrument de hoogte van de bovenkant van de tegels te meten ten opzichte van een vast geregistreerd punt in de buurt, waarvan de hoogte ten opzichte van NAP bekend is. De maaiveldhoogtes zijn bepaald om de maaiveldhoogte van de behandelingsobjecten binnen proefpercelen onderling te kunnen vergelijken. Dit is dus met inbegrip van zwel en krimp in respectievelijk de winter en de zomer en deze kan tussen de behandelingen verschillen. De interesse ging uit naar de werkelijke grondwaterstanden beneden maaiveld, omdat deze bepalend zijn voor de mate van zuurstofintreding (bodemdaling en CO<sub>2</sub>-emissie) en de bodemvochttoestand van de bovengrond (draagkracht en grasgroei).

Het meten van de maaiveldhoogte wordt bij voorkeur uitgevoerd in het vroege voorjaar, na opzwellen van het veen in de winter. In 2016 zijn in het voorjaar geen metingen verricht omdat de proefpercelen nog ingericht moesten worden. In 2017 is dit in het voorjaar niet gelukt door capaciteitsproblemen en defecte meetapparatuur. In plaats hiervan zijn metingen verricht in het najaar van 2017. Vervolgens is de maaiveldhoogte in het vroege voorjaar van 2019 en 2020 gemeten. De voorjaarsmetingen van deze laatste twee jaren zijn gebruikt om per perceel per behandeling de gemiddelde maaiveldhoogte te bepalen en deze onderling te kunnen vergelijken.

### Slootpeilen

Evenals de grondwaterstanden werden de slootpeilen gemonitord door deze wekelijks handmatig te meten tegelijkertijd met de grondwaterstanden ter hoogte van de waterreservoirs op perceel 14 en 15. Hiertoe zijn peilschalen aangebracht waarbij de hoogte ten opzichte van NAP is gemeten. De slootpeilen of droogleggingssituaties zijn gelijk verondersteld per hoofdbehandeling (hoog en laag slootpeil), respectievelijk de proefpercelen 13-14 en 15-16 en de hierop aangebrachte behandelingen met onderwaterdrains.

### Botanische samenstelling

Van de proefpercelen is in het najaar van 2017-2020 de botanische samenstelling van de behandelingsobjecten bepaald. De resultaten waren in het eerste deel van de onderzoeksperiode (2016-2017) vooral van belang voor het beoordelen van de gerealiseerde grasopbrengsten en stikstofgehalten van het gras. Door maaien kan namelijk de botanische samenstelling vrij snel veranderen (vooral een toename van het slecht gewaardeerde kweekgras), wat invloed kan hebben op de resultaten. De resultaten voor de gehele onderzoeksperiode zijn gebruikt om te zien of de drainbehandelingen een systematische verandering van de botanische samenstelling lieten zien.

### Waterkwaliteit

In 2018-2020 zijn watermonsters genomen om het effect van de onderwaterdrainbehandelingen op de waterkwaliteit te kunnen bepalen. Het streven was om per kwartaal drie bemonsteringen uit te voeren. De

---

bemonsteringen werden echter alleen uitgevoerd na een neerslagpiek en waarbij sprake was van waterafvoer vanuit de bodem naar het oppervlaktewater. Per behandeling werd de bemonstering als volgt uitgevoerd:

Hoog peil

(1) *Referentie.*

Bemonstering uit de sloot tussen perceel 11 en 12. Dit betrof een sloot buiten de proefpercelen waar de onderwaterdrainbehandelingen lagen om beïnvloeding van onderwaterdrains uit te sluiten. Hier werden random 2 x 2 monsters genomen en samengevoegd. Totaal 2 monsters.

(2) *Onderwaterdrains op de sloot.*

Bemonstering uit de verzameldrain op perceel 13 en 14. Per verzameldrain werden 2 monsters genomen (weerskanten perceel) en per verzameldrain samengevoegd tot 1 verzamelmonster. Totaal 2 monsters.

(3) *Pompgestuurde onderwaterdrains.*

Bemonstering uit de waterreservoirs op perceel 13 en 14. Per reservoir werd 1 monsters genomen. Totaal 2 monsters.

Laag peil

(1) *Referentie.*

Bemonstering uit de sloot tussen perceel 17 en 18. Hier random werden 2 x 2 monsters genomen en samengevoegd. Totaal 2 monsters.

(2) *Onderwaterdrains op de sloot.*

Bemonstering uit de verzameldrain op perceel 15 en 16. Per verzameldrain werden 2 monsters genomen (weerskanten perceel) en per verzameldrain samengevoegd tot 1 verzamelmonster. Totaal 2 monsters.

(3) *Pompgestuurde onderwaterdrains.*

Bemonstering uit de waterreservoirs op perceel 15 en 16. Per reservoir werd 1 monsters genomen. Totaal 2 monsters.

In Bijlage 3 staan de percelen met de bemonsteringslocaties weergegeven.

De analyses van de watermonsters zijn uitgevoerd door Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (CBLB) van Wageningen Environmental Research in Wageningen. De watermonsters zijn geanalyseerd op de volgende stoffen:

- fosfaat (PO<sub>4</sub>)
- stikstof (NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>, Nts, TOC/DOC), waarvan TOC/DOC alleen in 2020.
- zwavel (S)

De monsters werden bewaard in urinepotjes in een koelkast bij 4°C en binnen enkele weken aangeleverd bij CBLB.

## 2.5 Neerslagoverschot

Het effect van de onderwaterdrains is bepaald door het verschil in grondwaterstanden te analyseren tussen de drie drainbehandelingen. Neerslag en verdamping hebben een grote invloed op de aan- en afvoer van water. Bij een neerslagoverschot zijn de peilen relatief hoog en bij een verdampingoverschot relatief laag. Verder zijn greppels, slootafstand, slootpeil, de mate van infiltratie en drainage, en de hoeveelheid kwel en wegzijging belangrijke factoren.

Voor KTC Zegveld is het neerslagtekort (neerslag – verdamping) bepaald. Daarbij zijn de neerslagdata betrokken van het neerslagstation Zegveld (KNMI station 470) en de Makkinkverdamping (ETref) van het weerstation De Bilt (KNMI station 260). Het resultaat staat in Tabel 4. De negatieve getallen geven een tekort aan. De voorjaren van 2017 en 2020 en de zomers van 2016 en 2018-2020 waren relatief droog. In 2016 was de maand juni relatief nat.

**Tabel 4** Neerslag – verdamping per maand en per jaar voor 2016-2020 gebaseerd op neerslag van neerslagstation Zegveld (KNMI station 470) en de Makkinkverdamping (ETref) van weerstation de Bilt (KNMI station 260).

	2016	2017	2018	2019	2020
Januari	146	65	91	57	45
Februari	78	73	4	41	135
Maart	33	13	32	68	16
April	37	-27	26	-42	-69
Mei	-13	-54	-13	-20	-97
Juni	104	-44	-95	4	-20
Juli	-32	54	-132	-60	-17
Augustus	-32	-5	-10	-34	-30
September	-20	80	107	60	13
Oktober	38	55	20	80	105
November	93	81	15	103	45
December	12	156	89	70	85
Totaal	443	446	132	327	211

## 2.6 GLG en GHG

De grondwaterstanden in de zomer zijn een belangrijk gegeven voor het bepalen van het effect van vernattingsmaatregelen. Voor de interpretatie van de grondwaterstanden zijn de hydrologische parameters Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) en Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) berekend. De GLG en GHG zijn berekend door eerst per jaar de LG3 en de HG3 te berekenen en deze waarden vervolgens te middelen over de reeks van vijf jaren. Conform protocol (Cate et al., 1995) zijn de LG3 en HG3 berekend door per jaar respectievelijk in de periode van 1 april tot 1 november de drie laagste en in de periode van 1 november tot 1 april de drie hoogste grondwaterstanden gemeten op 14<sup>e</sup> en 28<sup>e</sup> van de maand te middelen. Het protocol schrijft echter ook voor, dat de GLG en GHG over tenminste een reeks van tenminste acht weerjaren berekend moet worden. Met de kortere proefperiode van vijf jaar kon hier niet aan voldaan worden.

## 2.7 Draininspectie

De werking van drainbuizen kan verstoord worden door vervuiling. Door WENR is van 24 tot en met 26 juni 2019 een visuele inspectie van een deel van de drainbuizen uitgevoerd op perceel 13-16 van beide drainobjecten (Van de Craats, 2019). De drainbuizen zijn verbonden met bezinkbakken en deze zijn opgegraven en geïnspecteerd. Daarbij zijn de drainbuizen beoordeeld. In de periode voorafgaand aan de inspectie is veel neerslag gevallen (ongeveer 100 mm over twee weken) en dus is veel water afgevoerd vanuit de percelen. Per perceel en object zijn drie drains (oost, midden, west) visueel geïnspecteerd voor de eerste 25 m van de drainbuis. Vervolgens is van tenminste één drain per behandelingsobject van een proefperceel een hoogtemeting gedaan. De theoretische maximale lengte van deze meting bedraagt 150 m. Bij deze hoogtemeting is in stappen van vijf meter de hoogteligging van de drain bepaald. Indien deze niet goed vlak blijkt te liggen, kan dat problemen opleveren voor het aan- en afvoeren van water, omdat luchtballen in de drains de stroming van water kunnen blokkeren. Figuur 2.6 toont een bezinkbak op het moment van plaatsing in 2016 en na opgraven ten behoeve van de draininspectie.



**Figuur 2.6** Links: bezinkbak, met daaraan gekoppeld de drain en de verzameldrain, ten tijde van de aanleg (bron: KTC Zegveld). Rechts: uitgegraven bezinkbak, waarop de drain en verzameldrain zijn aangesloten.

## 2.8 Schatting maaiveldddaling en broeikasgasemissie

Door Van den Akker *et al.* (2007, 2008) zijn voor grasland uit monitoringsdata betreffende maaiveldddaling, slootpeilen en grondwaterstanden empirische relaties bepaald om de jaarlijkse maaiveldddaling te berekenen uit slootpeilen (drooglegging) en kengetallen voor de grondwaterstand, zoals de GLG, gemiddelde zomergrondwaterstand of gemiddelde jaargrondwaterstand. Deze empirische relaties zijn in Kuikman *et al.* (2005) gebruikt om de maaiveldddaling van veengebieden in Nederland in kaart te brengen en deze vervolgens om te zetten in kooldioxide emissie (CO<sub>2</sub>) om zo voor Nederland de totale CO<sub>2</sub>-emissie van veengronden in agrarisch gebruik te berekenen.

Door van den Akker *et al.* (2007) wordt aangegeven dat veenoxidatie veel beter aan de diepste grondwaterstanden in de zomerperiode kan worden gerelateerd dan aan slootpeilen. Aan het einde van de zomer zijn in het algemeen niet alleen de grondwaterstanden op zijn diepst maar is de grond ook op zijn droogst met de meeste en diepste krimp scheuren waardoor zuurstof diep in het profiel kan dringen en zijn bovendien de bodemtemperaturen op zijn hoogst. De potentiële afbraaksnelheid van veen neemt bij toenemende bodemtemperatuur snel toe. Met een factor Q<sub>10</sub> wordt aangegeven hoeveel de potentiële afbraak toeneemt bij een stijging van 10 °C. Vermeulen en Hendriks (1996) vonden voor Nederlandse veengronden in het temperatuurtraject van 0 – 10 °C een Q<sub>10</sub>-waarde van 3,0 – 5,6 en in het traject van 10 – 20 °C Q<sub>10</sub>-waarden van 2,4 – 3,6.

In onderstaande vergelijkingen (1), (2) en (3) zijn de oorspronkelijke vergelijkingen voor de relaties tussen maaiveldddaling en GLG uit Van den Akker *et al.* (2007) omgezet naar relaties tussen CO<sub>2</sub>-emissie en GLG, waarbij 1 mm maaiveldddaling gelijk is gesteld aan een CO<sub>2</sub>-emissie van 2,26 ton CO<sub>2</sub>·ha<sup>-1</sup>.

Bij veengronden zonder kleidek bepaald met een dataset met alleen de veengronden zonder kleidek:

$$y = 61,72 \text{ GLG} - 19,95; r^2 = 0,98 \quad (1)$$

waarin  $y$  = de emissie in t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> j<sup>-1</sup>

GLG = Gemiddeld Laagste Grondwaterstand in m

Bij veengronden zonder kleidek bepaald met een dataset met veengronden met en zonder kleidek:

$$y = 53,19 \text{ GLG} - 15,10; r^2 = 0,61 \quad (2)$$

Bij veengronden met dun kleidek (< 40 cm) bepaald met een dataset met veengronden met en zonder kleidek:

$$y = 53,19 \text{ GLG} - 23,66; r^2 = 0,61 \quad (3)$$

Door de beperkte meetreeksen was het aantal metingen beperkt. Vooral voor veen zonder kleidek is de relatie eenduidig. De sterke invloed van de diepte van de grondwaterstand, maar ook temperatuur, wordt bevestigd door onder andere Höper (2007), Moore and Dalva (1993), Kluge *et al.* (2008), Renger *et al.* (2002) en Wessolek *et al.* (2002).



---

Bedacht moet worden dat de empirische vergelijkingen (3) t/m (5) zijn vastgesteld voor een situatie zonder toepassing van onderwaterdrains. Onderwaterdrains infiltreren niet alleen maar draineren ook, waardoor de GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) lager ligt en de bovengrond en zodelaag gemiddeld minder vaak volledig verzadigd zijn en daardoor wellicht meer veenoxidatie kent. Anderzijds zal door de voortdurende verbeterde infiltratie de bodemlaag direct boven de grondwaterstand natter blijven zodat daar de zuurstofvoorziening vermindert.

Op basis van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) uit het Kennisprogramma bodemdaling.nl. worden de komende jaren verbeterde relaties verwacht voor het schatten van emissies (zie paragraaf 4.9). Voor nu geven de vergelijkingen (1) t/m (3) een redelijke inschatting.

Aangezien de relaties toegepast worden voor de proef op KTC Zegveld is vergelijking (1) gebruikt voor veengronden zonder kleidek gebaseerd op de dataset met alleen de veengronden zonder kleidek.

Voor de maaiveldaling is onderstaande vergelijking (4) uit Van den Akker *et al.* (2007) gebruikt. Deze geldt eveneens voor veengronden zonder kleidek bepaald met een dataset met alleen de veengronden zonder kleidek:

$$y = 27,31 \text{ GLG} - 8,83; R^2 = 0,98 \quad (4)$$

waarin  $y$  = de maaiveldaling in mm per jaar  
GLG = Gemiddeld Laagste Grondwaterstand in m

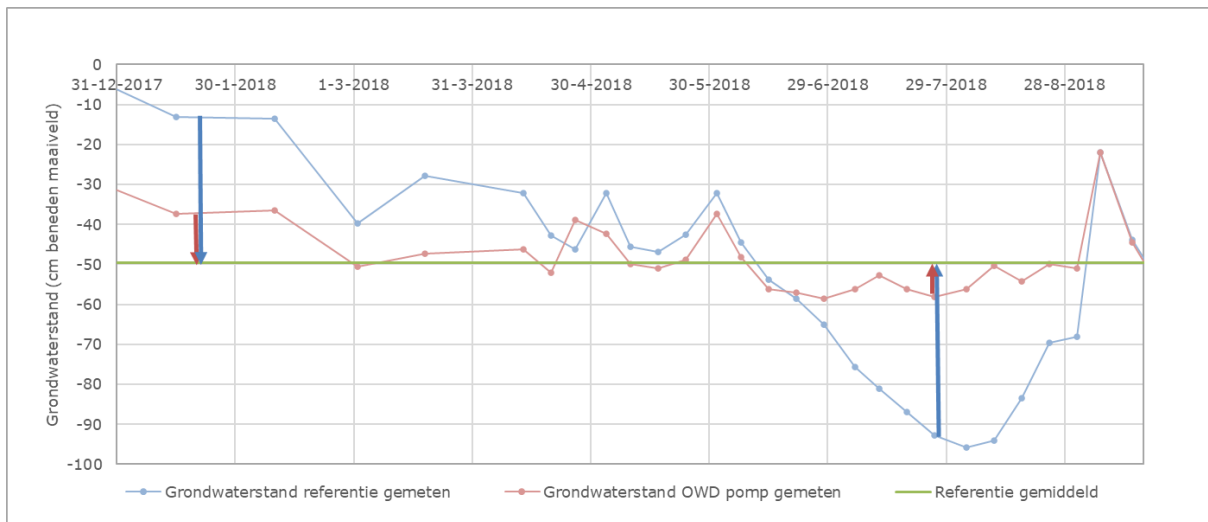
Voor de lachgasemissie ( $\text{N}_2\text{O}$ ) is de methodiek gebruikt zoals beschreven in Kuikman *et al.*, 2005. Daarbij wordt gerekend dat door de veenoxidatie niet alleen  $\text{CO}_2$  vrijkomt, maar ook stikstof (N) mineraliseert, die voor ca 2% wordt omgezet in  $\text{N}_2\text{O}$  (Kroeze, 1994). De  $\text{CO}_2$ -emissie volgt uit vergelijking (1), waaruit vervolgens de hoeveelheid gemineraliseerde koolstof (C) kan worden berekend. De koolstof-stikstofverhouding (C/N) van het eutrofe veen in Zegveld is  $C/N = 20$ , zodat de hoeveelheid gemineraliseerde stikstof kan worden berekend. Daarvan wordt 2% omgezet in  $\text{N}_2\text{O}$  (Kroeze, 1994). Gerekend is met een factor 265 om het broeikasgaseffect van  $\text{N}_2\text{O}$  om te zetten naar  $\text{CO}_2$ -equivalenten (IPCC Fifth Assessment Report, 2014 (AR5)). Uiteindelijk is het bijkomende broeikasgaseffect in  $\text{CO}_2$ -eq van de  $\text{N}_2\text{O}$  door de stikstofmineralisatie 11,36% van de  $\text{CO}_2$ -emissie door veenoxidatie.

Volgens Van den Pol-van Dasselaar (1998) is methaanemissie ( $\text{CH}_4$ ) niet aan de orde zolang grasland niet plas-dras staat, zoals dat in natuurgebieden het geval kan zijn. Intensief gebruikt en bemest grasland met een voldoende drooglegging legt zelfs methaan vast. Voor greppelinfiltratie zal in en rond de greppel wel enige methaanemissie optreden, maar dit is verwaarloosbaar klein zolang het omliggende land niet plas-dras staat. Volgens Schrier-Uijl (2010) werd wel methaanemissie uit Nederlandse veenweiden gemeten. Sloten en slootkanten zijn de hotspots (60-70 % van de terrestrische  $\text{CH}_4$ -emissie), maar ook uit het grasland kwam in de zomer  $\text{CH}_4$  vrij. Onderzocht werd of transformatie van intensief landbouwkundig gebruik naar natuurbeheer tot een verandering van methaanemissie zou leiden. Dit bleek niet het geval, tenminste wanneer de emissies door landbouwkundig gebruik van de grond werd meegerekend. In het onderzoek waren de zomerslootpeilen gelijk. Het onderzoek bood geen aanknopingspunten om  $\text{CH}_4$ -emissie te kunnen relateren aan peilbeheer of mate van vernatting. Mede gezien de conclusies uit het onderzoek van Pol-van Dasselaar (1998) en de gebruikte systematiek volgens Kuikman *et al.* (2005), om voor de veengebieden in Nederland maaiveldaling en broeikasgasemissie in kaart te brengen, is in de interpretatie van de veldproef methaanemissie voor grasland buiten beschouwing gelaten.

In Motelica *et al.* (2020) zijn verschillende methoden vergeleken om broeikasgasemissies op veenweidegrond te kwantificeren. Een alternatief voor de relaties van Van den Akker *et al.* (2007) is de methode van Jurasinski (2016), welke gebaseerd is op een verandering van de gemiddelde grondwaterstand. Volgens deze methode wordt de verandering van  $\text{CO}_2$ -,  $\text{N}_2\text{O}$ - en  $\text{CH}_4$ -emissie geschat. Aangezien onderwaterdrains de grondwaterstanden nivelleren (lagere wintergrondwaterstand en hogere zomergrondwaterstand) verandert de gemiddelde grondwaterstand slechts gering en zou volgens deze methode nauwelijks reductie optreden. Dit wordt echter onwaarschijnlijk geacht, omdat bij een substantiële verhoging van de GLG (en tevens de verzadigde zone) de zuurstofindringing in de bodem en daarmee de veenafbraak vermindert. De relaties van Van den Akker (2007) kwantificeren dit verband tussen een hogere GLG en een verminderde maaiveldaling en  $\text{CO}_2$ -emissie. De methode van Jurasinski is zodoende niet gehanteerd.

## 2.9 Statistische analyse grondwaterstanden

Het verloop van de grondwaterstanden van de onderzoeksobjecten is statistisch geanalyseerd om het effect van onderwaterdrains op de grondwaterstand ten opzichte van de referentiesituatie zonder drains te kunnen toetsen en te kwantificeren. In dit vergelijk is de gemiddelde grondwaterstand van de *Referentie* over de gehele onderzoeksperiode als het normatieve niveau gekozen. Per proefperceel zijn de grondwaterstanden van de *Referentie* en de objecten met onderwaterdrains (*Onderwaterdrains op de sloot* en *Pompgestuurde onderwaterdrains*) gemiddeld per meetdatum. Het verschil tussen de gemiddelde grondwaterstanden per meetdatum van de *Referentie* en het normatieve niveau (Delta REF) en het verschil tussen de gemiddelde grondwaterstanden per meetdatum van de afzonderlijke drainbehandelingen en het normatieve niveau (Delta OWD) zijn paarsgewijs vergeleken. In Figuur 2.7 is geïllustreerd hoe de verschillen voor twee meetmomenten paarsgewijs zijn vergeleken ten opzichte van het gemiddelde niveau van de *Referentie*.



**Figuur 2.7** Illustratie paarsgewijze vergelijking van grondwaterstanden van de *Referentie* per meetdatum (blauwe pijlen; Delta REF) en onderwaterdrains (rode pijlen; Delta OWD) binnen een perceel ten opzichte van de gemiddelde (normatieve) grondwaterstand voor de *Referentie*.

Met een REML-procedure is een 'mixed model analysis' uitgevoerd in Genstat 19<sup>th</sup> edition (2018). Alle grondwatergegevens zijn gemodelleerd in de tijd met behulp van een autocorrelatieterm voor in de tijd opvolgende meetdata binnen een perceel. De kern van het model betreft een 2<sup>e</sup>-orde polynoom relatie:

$$Y_{ijk} = b_{0ik} + b_{1ik} \cdot X_{ijk} + b_{2ik} \cdot X_{ijk}^2 + \underline{\epsilon}_{ij} + \underline{\epsilon}_{ijk}$$

Waarin:

- $Y_{ijk}$  = Grondwaterstand van de drainbehandeling k in perceel i op datum j;  
 $X_{ijk} = (\bar{Y}_{0ijk} - \bar{Y}_0)$  Verschil tussen de actuele grondwaterstand op datum t en de overall gemiddelde grondwaterstand van alle referentiebuizen binnen een perceel i;  
 $b_0, b_1, b_2 =$  Respectievelijk intercept, lineaire en kwadratische term voor de relatie tussen y en x.  
 $\underline{\epsilon}_{ij}, \underline{\epsilon}_{ijk}$  Respectievelijk residuele effecten voor de datum binnen perceel en de datum binnen perceel binnen het object.

Het verschil tussen objecten met en zonder onderwaterdrains is verklaard met de parameter  $b_1$ , de regressie coëfficiënt van de grondwaterstand voor onderwaterdrains ten opzichte van de referentiesituatie. Des te meer de regressiecoëfficiënt afwijkt van de waarde 1, des te groter het effect van onderwaterdrains. Een verandering van de intercept betekent dat het gemiddelde niveau van de grondwaterstand verschuift. Dit kan veroorzaakt worden door verschil in maaiveldhoogte en/of door een effect van de onderwaterdrainbehandeling.

In de analyse is voor de drainbehandelingen de verandering van de grondwaterstand ten opzichte van een voorgaande meting als correctiefactor meegenomen, omdat hier bij neerslag sneller grondwaterstandspieken ontstonden door een reeds hogere grondwaterstand dan de *Referentie* (kleinere buffer voor het bergen van

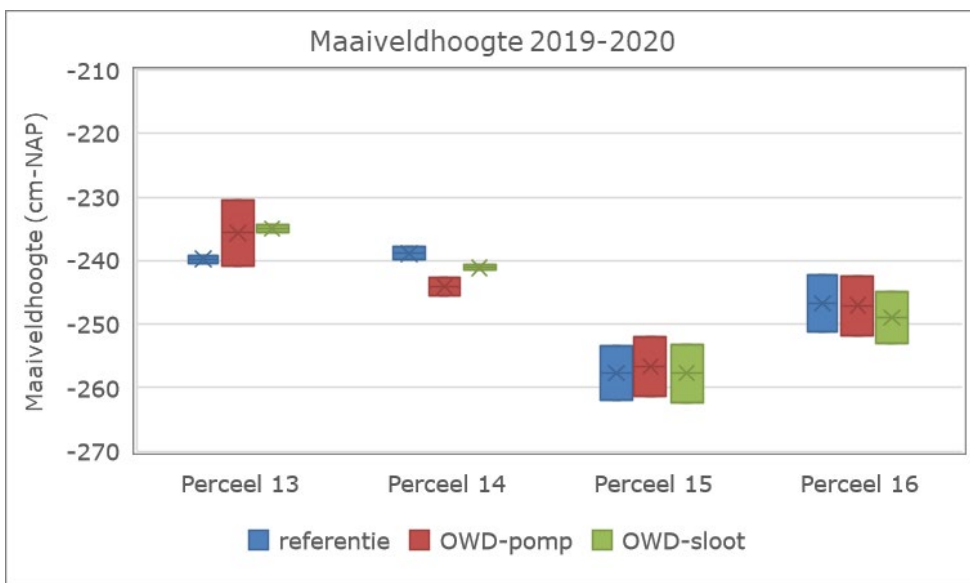
---

neerslag in de bovengrond). Deze grondwaterstandspieken hadden een relatief grote invloed op de relatie. Zonder deze correctie werd de lineaire parameter overschat en dus het effect van de drainbehandeling onderschat. De correctie betrof de verhouding tussen Delta REF en Delta OWD, gedeeld door het aantal dagen tussen de meting en de voorgaande meting. De correctiefactor kon zowel negatief als positief zijn en was gemiddeld over alle metingen gelijk aan nul. De correctiefactor werd alleen in de analyse gebruikt en kwam niet in het eindmodel tot uiting.

# 3 Resultaten

## 3.1 Maaiveldhoogte

De gemeten grondwaterstanden moeten beschouwd worden in relatie tot de maaiveldhoogte en de verschillen in maaiveldhoogte tussen de behandelingen. De voorjaarsmetingen van 2019 en 2020 zijn gebruikt om per perceel per behandeling de gemiddelde maaiveldhoogte te bepalen en deze onderling te kunnen vergelijken. De betreffende maaiveldhoogtes staan in Figuur 3.1. In Bijlage 4 staan de resultaten van voorjaarsmetingen inclusief 2017.



**Figuur 3.1** Maaiveldhoogtes (cm) gemeten ten opzichte van NAP in het vroege voorjaar van 2019 en 2020. De weergegeven kaders betreffen de verdeling van de meetresultaten en het gemiddelde.

De verschillen van de ongedraineerde referentiesituatie en de drainbehandelingen ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte per perceel staan in Tabel 5.

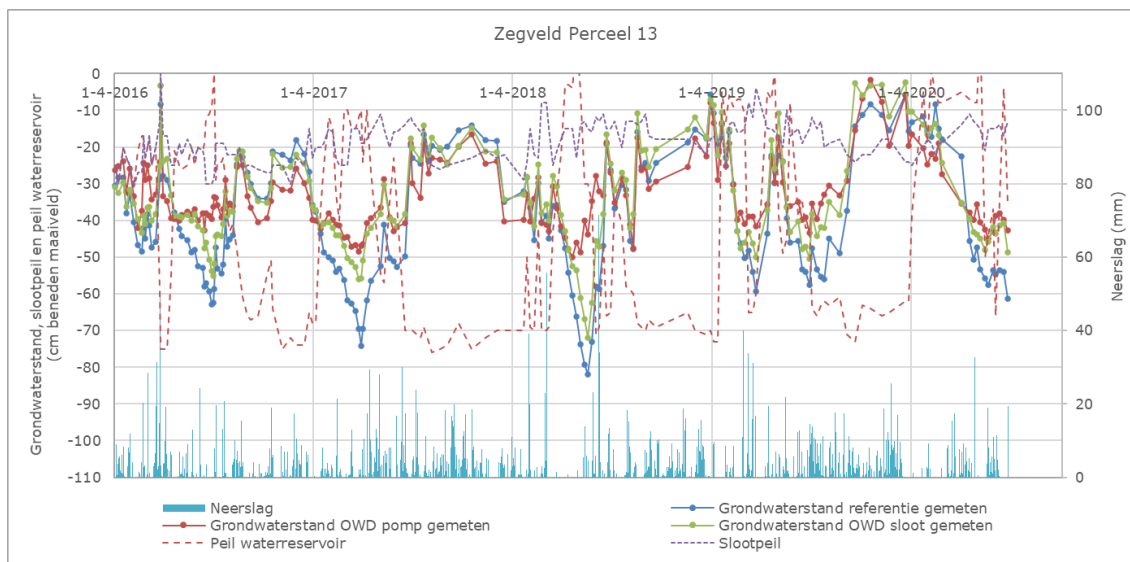
**Tabel 5** Gemiddeld verschil maaiveldhoogte tussen de Referentie en de drainbehandelingen (cm).

	Referentie	OWD-pomp	OWD-sloot
Perceel 13	3.3	-1.6	-1.6
Perceel 14	-2.3	3.1	-0.8
Perceel 15	0.4	-0.8	0.4
Perceel 16	-0.5	-0.6	1.1

In de volgende paragraaf zijn de grondwaterstanden van de behandelingen beschreven en gepresenteerd ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte (2019-2020).

## 3.2 Grondwaterstanden

Het meten van de grondwaterstanden is gestart op 1 april 2016 en voortgezet tot half september 2020. In de periode van maart tot en met oktober gebeurde dit wekelijks en in de wintermaanden tweewekelijks. Tot 22 juni 2016 was het waterpeil in de waterreservoirs gelijk aan het slootpeil, omdat de apparatuur voor het reguleren van het peil in de reservoirs nog niet operationeel was. Vanaf 22 juni 2016 is het peil in de reservoirs afhankelijk gesteld van de actuele grondwaterstand en de weersverwachting, zoals dat in paragraaf 2.3 is gespecificeerd. In Figuur 3.2 tot en met 3.5 staan de resultaten voor de proefpercelen 13 tot en met 16. In Bijlage 5 staan uitvergrotingen van deze figuren. De grondwaterstanden zijn per meetmoment per drainbehandeling gemiddeld en weergegeven ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte (zie paragraaf 3.1) van het betreffende perceel.



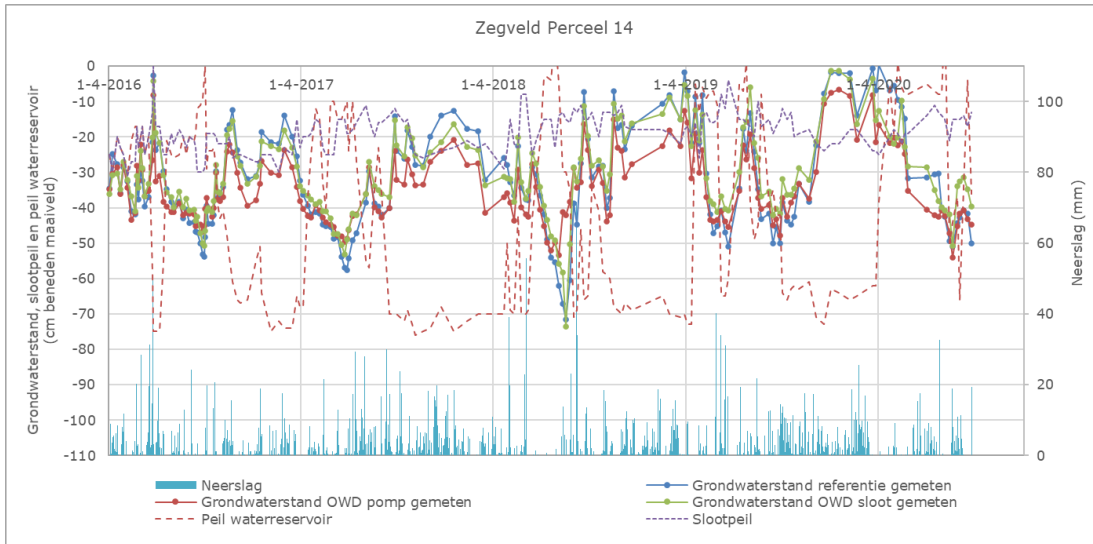
**Figuur 3.2** Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (Referentie, Onderwaterdrains op de sloot en Pompgestuurde onderwaterdrains), slootpeil en reservoirpeil voor perceel 13 bij een vast hoog slootpeil met een drooglegging van 20 cm.

De grondwaterstanden laten volgens Figuur 3.2 voor perceel 13, en ook de andere percelen, een cyclisch verloop zien, met in de winter relatief hoge en in de zomer relatief lage grondwaterstanden. Door infiltratie van oppervlaktewater in de bodem en drainage van grondwater via drainbuizen naar de sloot nivelleerde de grondwaterstand, vooral wanneer het drukverschil tussen het oppervlaktewater en het grondwater vergroot werd door het opzetten van het waterpeil in een waterreservoir, zoals dat bij het toepassen van *Pompgestuurde onderwaterdrains* het geval was.

Het verloop van de grondwaterstand was voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* aanmerkelijk vlakker dan voor de *Referentie* en *Onderwaterdrains op de sloot*. Het streefpeil van 40 cm voor het grondwaterniveau werd in het winterhalfjaar niet gehaald, maar in het zomerhalfjaar wel redelijk benaderd. In de relatief natte zomer van 2016 werd het streefpeil behaald. Tijdens de droge perioden in de zomers van 2017 en 2018 daalde de grondwaterstand bij *Pompgestuurde onderwaterdrains* naar respectievelijk 49 en 50 cm beneden maaiveld, daar waar de grondwaterstand van de *Referentie* aanzienlijk verder daalde tot respectievelijk 74 en 82 cm beneden maaiveld. De grondwaterstand van *Onderwaterdrains op de sloot* daalde tot respectievelijk 56 en 72 cm. In de zomers van 2019 en 2020 daalde met *Pompgestuurde onderwaterdrains* de grondwaterstand tot respectievelijk 42 en 44 cm beneden maaiveld en verhoogde de grondwaterstand ten opzichte van de *Referentie*. Voor *Onderwaterdrains op de sloot* waren ook de grondwaterstanden verhoogd ten opzichte van de referentie, maar in een beperktere mate.

In het vroege voorjaar werd de grondwaterstand met *Pompgestuurde onderwaterdrains* met ongeveer 5-10 cm verlaagd. In het relatief natte najaar van 2017 hadden *Pompgestuurde onderwaterdrains* een additioneel drainerend effect ten opzicht van *Onderwaterdrains op de sloot*. Tijdens neerslagpieken in het zomerhalfjaar steeg het grondwaterpeil op alle drainobjecten gemakkelijk tot in het maaiveld door een geringere bergingscapaciteit van de bodem, echter het teveel aan water werd bij *Pompgestuurde onderwaterdrains* sneller afgevoerd, zoals na de neerslagpiek op 23 juni 2016 (57 mm). Overigens steeg tijdens de neerslagpiek van 23 juni 2016 het slootpeil van zowel het lage als het hoge peil tot het gemiddelde maaiveldniveau van de betreffende percelen. De percelen hebben gedurende korte tijd voor een groot deel onder water gestaan. Het polderpeil was op dat moment zodanig hoog dat de waterafvoer voor geheel KTC Zegveld stagneerde. Door de snellere afvoer bij *Pompgestuurde onderwaterdrains* was de draagkracht sneller weer toereikend voor betreding en berijding. De verandering in draagkracht is niet gemeten, maar het verschil tussen de drainobjecten werd al lopend over het perceel wel fysiek waargenomen.

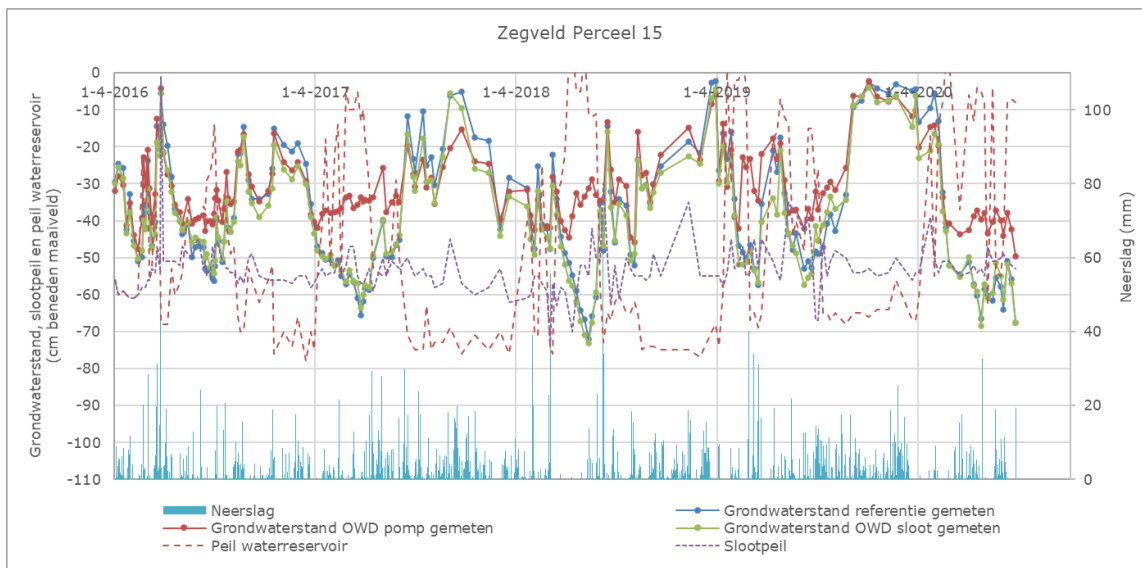
Perceel 14 had evenals perceel 13 een drooglegging van 20 cm en liet een vergelijkbaar verloop van de grondwaterstanden zien voor de drie objecten (Figuur 3.3).



**Figuur 3.3** Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (Referentie, Onderwaterdrains op de sloot en Pompgestuurde onderwaterdrains), slooppeil en reservoirpeil voor perceel 14 bij een vast hoog slooppeil met een drooglegging van 20 cm.

Ook op perceel 14 was het effect van *Pompgestuurde onderwaterdrains* groter dan van *Onderwaterdrains op de sloot* en had het verhogen van het drukverschil tussen oppervlaktewater en grondwater vooral een groot effect had op de grondwaterstand in de droge zomer van 2018. *Onderwaterdrains op de sloot* hadden een nivellerend effect, maar in 2018 was de infiltratiesnelheid te gering om op het droogste moment in de zomer de grondwaterstand te kunnen verhogen ten opzichte van de *Referentie*. In het vroege voorjaar hadden de onderwaterdrainsobjecten een verlagend effect op de grondwaterstand ten opzichte van de *Referentie* door extra drainage. Hierbij was het verschil tussen beide onderwaterdrainsobjecten gering.

Op perceel 15 verhoogden de *Pompgestuurde onderwaterdrains* de grondwaterstand in de zomerperiodes tot praktisch het niveau van het streefpeil voor de grondwaterstand (Figuur 3.4).

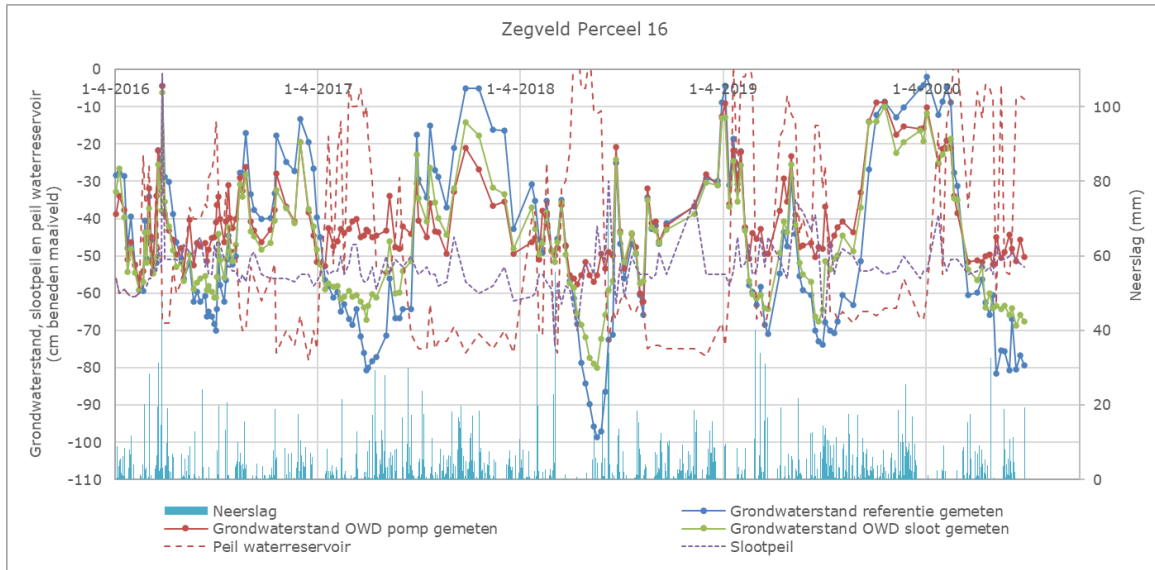


**Figuur 3.4** Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (Referentie, Onderwaterdrains op de sloot en Pompgestuurde onderwaterdrains), slooppeil en reservoirpeil voor perceel 15 bij een vast 'laag' slooppeil met een drooglegging van 55 cm.

Opvalt dat de grondwaterstanden van de *Referentie* en de *Onderwaterdrains op de sloot* praktisch gelijk waren. De drainobjecten hadden een verlagend effect op de grondwaterstand in het vroege voorjaar uitgezonderd in 2019. Het verschil tussen de drainobjecten was daarbij zeer klein. Het geringe verschil tussen de *Referentie* en *Onderwaterdrains op de sloot* bleek te worden veroorzaakt door de geringere

drooglegging met een slootpeil van ca 20 cm beneden maaiveld op de naastgelegen kavel met perceel 14 en 13. (zie Discussie paragraaf 4.2)

Op perceel 16 werd met *Pompgestuurde onderwaterdrains* het streefpeil in de zomer minder goed benaderd dan op perceel 15 (Figuur 3.5), omdat de peilsturing van perceel 16 op grondwaterstanden van perceel 15 gebaseerd werd. Bij aansturing op basis van perceel 16, zou dit op perceel 15 tot vernatting hebben geleid.



**Figuur 3.5** Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (Referentie, Onderwaterdrains op de sloot en Pompgestuurde onderwaterdrains), slootpeil en reservoirpeil voor perceel 16 bij een vast 'laag' slootpeil met een drooglegging van 55 cm.

In de zomer van 2018 was het verschil voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* met de *Referentie* maar liefst 40 cm. Voor *Onderwaterdrains op de sloot* was op dat moment het verschil met de *Referentie* 20 cm en bleek ook deze behandeling de infiltratie aanzienlijk te bevorderen. In alle zomers waren de diepste grondwaterstanden *Onderwaterdrains op sloot* vergelijkbaar met perceel 15, echter de grondwaterstanden van de *Referentie* waren dieper. Hieruit bleek dat ook *Onderwaterdrains op de sloot* toch de infiltratie aanzienlijk bevorderde. De drainobjecten hadden een aanzienlijk verlagend effect op de grondwaterstand in het vroege voorjaar, vooral in 2018 en 2020.

#### GHG en GLG

Op basis van de gemeten grondwaterstanden zijn voor de reeks van vijf proefjaren per perceel en per drainbehandeling de GHG en GLG berekend. Deze waarden zijn uitgedrukt ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte, zoals die in Tabel 5 staan. De GHG en GLG staan Tabel 6.

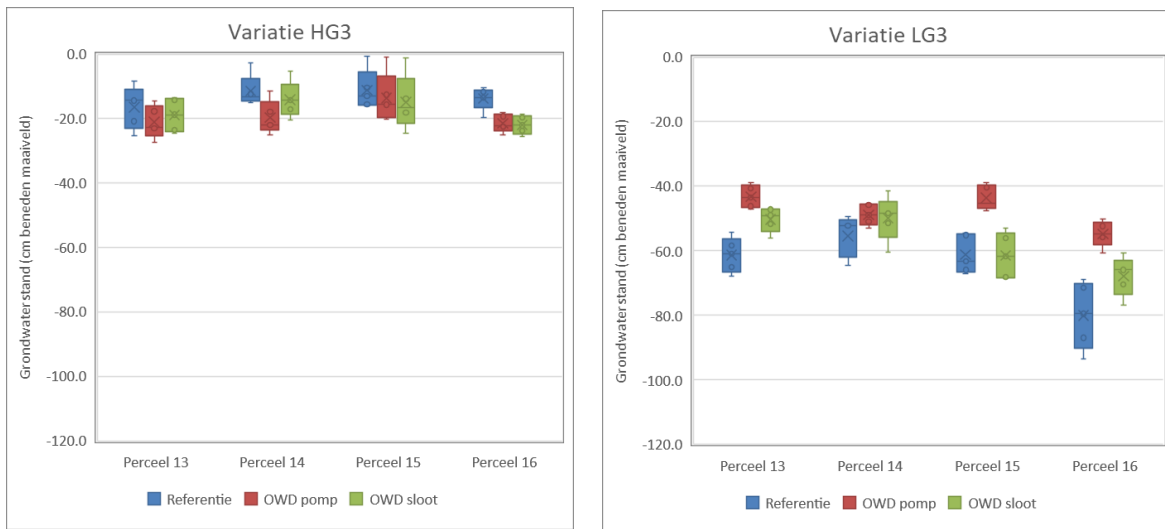
**Tabel 6** De GHG en GLG per perceel en per behandeling, te weten de *Referentie*, *Pompgestuurde onderwaterdrains (OWD pomp)* en *Onderwaterdrains op de sloot (OWD sloot)*.

Behandeling	Hoog slootpeil		Laag slootpeil	
	Perceel 13	Perceel 14	Perceel 15	Perceel 16
<b>GHG (cm -mv)</b>				
Referentie	16	11	11	14
OWD pomp	21	20	14	21
OWD sloot	19	14	15	22
<b>GLG (cm -mv)</b>				
Referentie	61	55	61	80
OWD pomp	43	49	44	55
OWD sloot	50	50	61	68

Voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* waren de verschillen met de *Referentie* het grootst; de GHG 's waren lager dan de *Referentie* en de laagste grondwaterstanden en de GLG 's waren hoger dan de *Referentie*. *Pompgestuurde onderwaterdrains* hadden alleen op perceel 13 en 16 een duidelijk hogere GLG dan de *Referentie*. Hier was voor de *Referentie* de laagste grondwaterstand beduidend lager dan

de GLG. Dit betekent dat incidenteel de grondwaterstand lage waarden bereikte en dat zuurstof diep de bodem in kan treden wat zorgt voor extra veenafbraak.

De variatie in respectievelijk de laagste grondwaterstanden en GLG en de hoogste grondwaterstanden en GHG staan in Figuur 3.6 voor de *Referentie*, de *Pompgestuurde onderwaterdrains* en de *Onderwaterdrains op de sloot* inclusief de kwartielwaarden en uiterste waarden. De GLG 's zijn gebruikt voor het schatten van de maaiveldddaling en de broeikasgasemissie (zie paragraaf 3.7).



**Figuur 3.6** De variatie in de HG3 (links) en LG3 (rechts) voor perceel 13-16, voor de *Referentie*, *Pompgestuurde onderwaterdrains* en *Onderwaterdrains op de sloot* (2016-2020). De weergegeven kaders en lijnen betreffen de verdeling van resultaten in kwartielen, met het gemiddelde en de uitschieters. De lijnen geven variabiliteit buiten het bovenste en onderste kwartiel aan. De gemiddelde waarde voor HG3 en LG3 betreft respectievelijk de GHG en GLG.

Het verschil in de HG3 's tussen de behandelingen was relatief klein voor perceel 13 en 15, echter voor alle vier de percelen was gemiddeld de HG3 voor de drainbehandelingen lager dan die voor de *Referentie*. Het verschil in de GLG 's tussen de behandelingen was relatief groter dan van de GHG 's. Vooral voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* lagen de GLG 's aanmerkelijk hoger dan van de *Referentie* door extra infiltratie. Op perceel 13 en 16 lagen de GLG 's voor *Onderwaterdrains op de sloot* tussen die van de *Referentie* en *Pompgestuurde onderwaterdrains*. Voor perceel 14 was het verschil tussen de GLG 's van de *Referentie* en *Onderwaterdrains op de sloot* kleiner. Voor perceel 15 waren de GLG 's van de *Referentie* en de *Onderwaterdrains op de sloot* nagenoeg gelijk door de invloed van het hoge slootpeil van de belendende kavel (perceel 14 en 13) zoals vermeld bij Figuur 3.4 en toegelicht in paragraaf 4.3. De *Pompgestuurde onderwaterdrains* lieten op perceel 13-16 voor de LG3 's een aanmerkelijk kleinere variatie zien dan voor de *Referentie* en de *Onderwaterdrains op de sloot*.

#### Statistische analyse

Geanalyseerd is hoe Delta REF en Delta OWD zich voor de drainbehandelingen tot elkaar verhielden. Voor *Onderwaterdrains op de sloot* bleken deze lineair aan elkaar gerelateerd te zijn, voor zowel het zomer- als het winterhalfjaar. Voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* was deze relatie niet lineair, maar betrof het een 2<sup>e</sup> orde polynoom relatie. In perioden met een neerslagtekort (veelal in het zomerhalfjaar) was sprake van een vlakke relatie, wat betekent dat het verhogende effect op de grondwaterstand van *Pompgestuurde onderwaterdrains* groter was dan van gangbare onderwaterdrains. Voor *Onderwaterdrains op de sloot* bleek de kwadratische term nihil en deze is zodoende in het eindmodel op nul gezet. Het percentage verklaarde variantie ( $R^2$ ) voor de paarsgewijze analyse van de grondwaterstanden was 98%.

De resultaten van de statistische analyse staan in Tabel 7. Het betreft de lineaire parameters, de intercepten en de significante verschillen per proefperceel voor een gemiddeld grondwatervolume van de *Referentie* ( $x=0$ ). De lineaire parameter (richtingscoëfficiënt) en het intercept kwantificeren voor de drainbehandelingen respectievelijk de afwijking van de grondwaterstand en het gemiddelde niveau van de grondwaterstanden ten opzichte van de genormaliseerde grondwaterstanden (gemiddelde 2016-2020) van de *Referentie*. Een lineaire parameter gelijk aan 1 betekent voor *Onderwaterdrains op de sloot* dat veranderingen in de grondwaterstanden van de drainbehandeling overeenkomen met veranderingen van de grondwaterstand van de *Referentie*. De lineaire parameter voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* beschrijft de verandering in de grondwaterstand van de drainbehandeling bij verandering in de grondwaterstand van de *Referentie* rondom



---

het gemiddelde niveau van de *Referentie* (oftewel de raaklijn van de curve-vormige relatie). Voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* geeft de kwadratische term uit de polynoom functie de extra afwijking weer van de grondwaterstand in het zomerhalfjaar ten opzichte van de *Referentie*.

Voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* waren de lineaire parameters significant verschillend van 1. De lineaire parameters waren ook tussen de proefpercelen significant verschillend. De kwadratische term was voor de percelen gelijk. De drainbehandeling zorgde voor een verhoging van de gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van de *Referentie*. Daarbij was alleen dit verschil voor de percelen met een laag slootpeil (15 en 16) significant verschillende van 0. Onderling waren de verschillen tussen de percelen significant.

Voor *Onderwaterdrains op de sloot* waren de lineaire parameters significant groter dan van *Pompgestuurde onderwaterdrains*. Dit betekent dat de nivellerende werking op de grondwaterstand van *Onderwaterdrains op de sloot* kleiner was. Ook waren de verschillen tussen de percelen significant. De lineaire parameters voor perceel 14 en 16 waren kleiner dan voor perceel 13 en 15. Voor perceel 15 was de lineaire parameter niet verschillend van 1, wat betekent dat onderwaterdrains op de sloot geen effect had op de grondwaterstand. Dit kwam door de invloed van het hoge slootpeil van de naastgelegen kavel (perceel 14 en 13) op de *Referentie*, waardoor het verschil met *Onderwaterdrains op de sloot* niet tot uiting kwam. Voor perceel 13, 14 en 16 zorgden *Onderwaterdrains op de sloot* voor een geringe verhoging van de gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van de *Referentie*. De effecten op de gemiddelde grondwaterstand waren voor perceel 14 en 16 significant verschillend van 0, doordat op deze percelen het effect van de *Onderwaterdrains op de sloot* groter was.

De gemiddelde grondwaterstand lag bij de *Pompgestuurde onderwaterdrains* 2,5 cm en bij *Onderwaterdrains op de sloot* 2 cm hoger dan de gemiddelde grondwaterstand van de *Referentie*.

Uiteindelijk karakteriseert de lineaire parameter van de functies het effect op de grondwaterstand het best; des te kleiner het getal des te groter het effect.

**Tabel 7** Waarden voor lineaire parameter en intercept inclusief paarsgewijze significantie en significant verschil van respectievelijk 1 en 0. Intercept genormaliseerd betreft het intercept ten opzichte van de gemiddeld ongedraineerde referentiesituatie.

Perceel	Type onderwater-drains (OWD)	Lineaire parameter			Kwadratische term	Intercept				
		Waarde	Paarsgewijze significantie	Significant verschillend van 1		Intercept	Ongedraineerd gemiddeld	Intercept genormaliseerd	Pairwise significance	Significant verschillend van 0
Perceel 13	OWD-Pomp	0.532	ab	*	0.004894	-35.62	-35.9	0.28	ab	ns
Perceel 14	OWD-Pomp	0.591	b	*	0.004894	-32.7	-34.8	2.1	bc	ns
Perceel 15	OWD-Pomp	0.497	ab	*	0.004894	-34.849	-37.5	2.631	cd	*
Perceel 16	OWD-Pomp	0.437	a	*	0.004894	-43.789	-49.5	5.721	de	*
Perceel 13	OWD-Sloot	0.844	de	*	0	-35.096	-35.9	0.804	b	ns
Perceel 14	OWD-Sloot	0.785	cd	*	0	-31.239	-34.8	3.561	cd	*
Perceel 15	OWD-Sloot	0.949	e	ns	0	-39.44	-37.5	-1.96	a	ns
Perceel 16	OWD-Sloot	0.739	c	*	0	-46.067	-49.5	3.443	c	*
Gemiddeld	OWD-Pomp	0.5136			0.004886			2.5		
Gemiddeld	OWD-Sloot	0.8038			0			2		

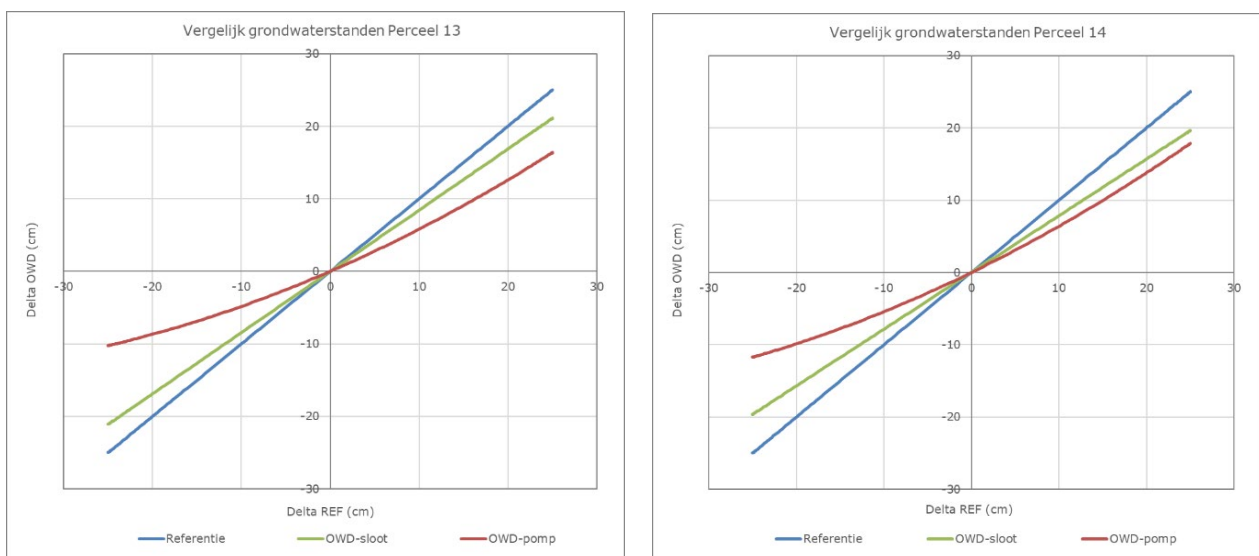
Het verschil tussen de gemiddelde grondwaterstand van de *Referentie* en de drainbehandelingen zoals die uit de statistische analyse per proefperceel zijn berekend (Intercept genormaliseerd in Tabel 7), is gecorrigeerd met de verschillen tussen de maaiveldhoogtes tussen de behandelingen uit Tabel 5. De uiteindelijke verschillen staan in Tabel 8.

**Tabel 8** *Netto verschil in gemiddelde grondwaterstand per perceel per drainbehandeling (cm) ten opzichte van de Referentie. Een positief verschil betekent een gemiddeld hogere grondwaterstand en een negatief verschil betekent een gemiddeld lagere grondwaterstand voor de drainbehandeling.*

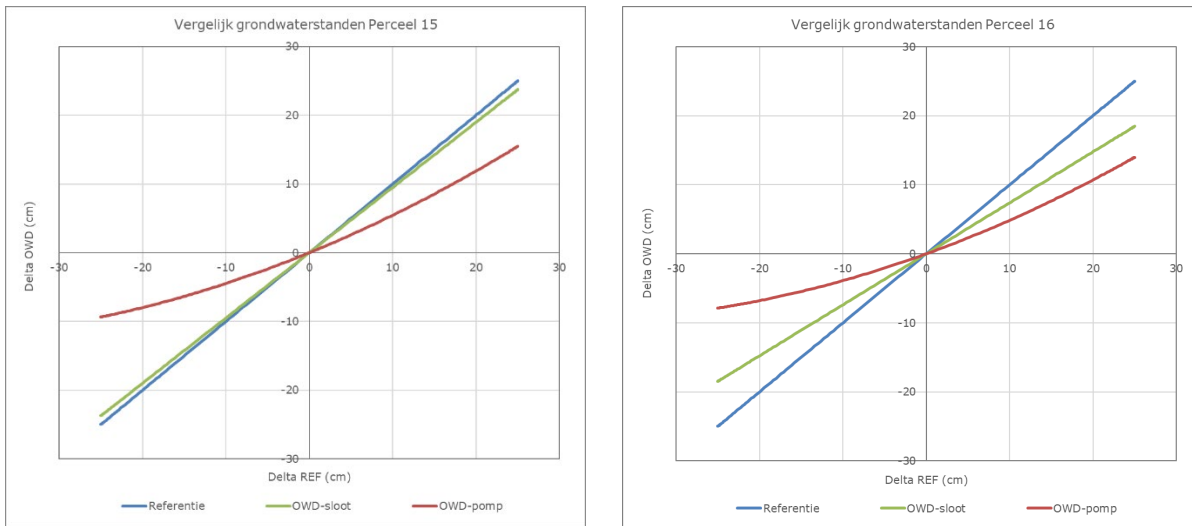
Perceel	Type onderwater-drains (OWD)	Intercept genormaliseerd (cm)	Vershil maaiveld met Referentie (cm)	Netto verschil in gemiddelde grondwaterstand (cm)
Perceel13	OWD-Pomp	0.3	4.9	5.2
Perceel 14	OWD-Pomp	2.1	-5.4	-3.3
Perceel 15	OWD-Pomp	2.6	1.3	3.9
Perceel 16	OWD-Pomp	5.7	0.1	5.8
Perceel 13	OWD-Sloot	0.8	4.9	5.7
Perceel 14	OWD-Sloot	3.6	-1.5	2.0
Perceel 15	OWD-Sloot	-2.0	0.0	-2.0
Perceel 16	OWD-Sloot	3.4	-1.6	1.8

Het maximale verschil in gemiddelde grondwaterstand tussen de drainbehandelingen en de *Referentie* bedroeg 5,8 cm.

Om de effecten van de drainbehandelingen, op basis van de relaties uit de statistische analyse, in beeld te brengen, staan in Figuur 3.8 voor de percelen met een hoog slootpeil en in Figuur 3.9 voor de percelen met het lagere slootpeil de gemodelleerde grondwaterstanden voor Delta REF en Delta OWD voor beide drainbehandelingen. Voor beide situaties is het modelbereik voor Delta Ref en Delta OWD gesteld op +25 cm tot -25 cm. Voor de interpreteerbaarheid van de figuren is het intercept voor de drie vergelijkingen op nul gezet, waardoor de relaties door de oorsprong gaan. Zodoende komen alleen het effect van de lineaire parameters en de kwadratische term tot uitdrukking. In Bijlage 6 staan dezelfde Figuren inclusief intercept.



**Figuur 3.8** *Delta REF uitgezet tegen Delta OWD ter illustratie van de gemodelleerde verschillen (lineaire parameter en kwadratische term, exclusief intercept) tussen Onderwaterdrains op de sloot (OWD-sloot, groen), Pompgestuurde onderwaterdrains (OWD-pomp, rood) en de Referentie (blauw) voor perceel 13 (links) en perceel 14 (rechts) bij een drooglegging van 20 cm. Het modelbereik voor Delta Ref en Delta OWD is gesteld op +25 cm tot -25 cm. Extrapoleren met waarden > 25 cm voor Delta Ref geeft risico op onbetrouwbare resultaten.*



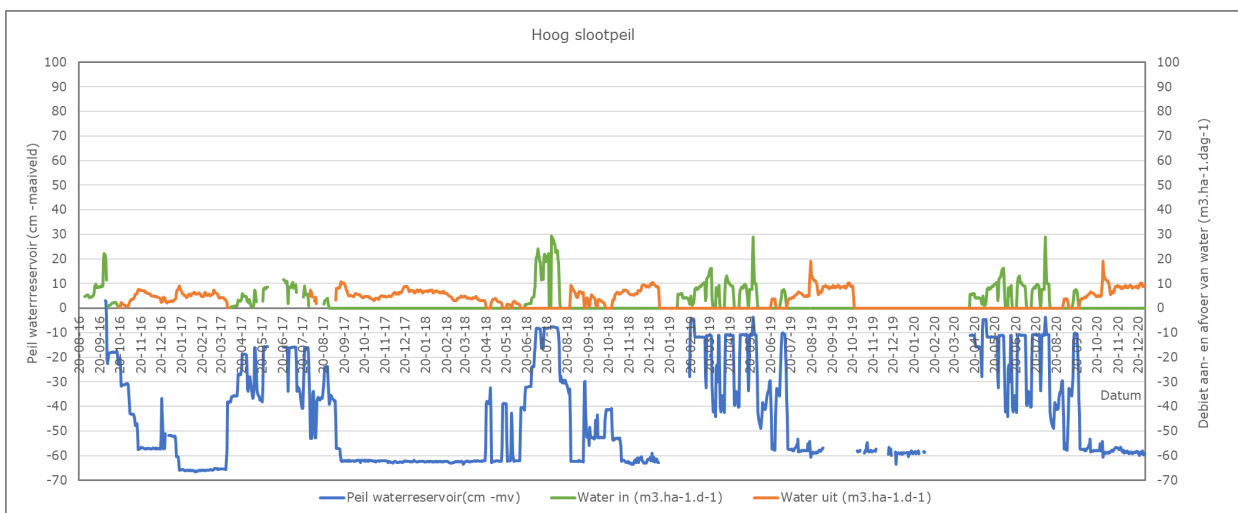
**Figuur 3.9** Delta REF uitgezet tegen Delta OWD ter illustratie van de gemodelleerde verschillen (lineaire parameter en kwadratische term, exclusief intercept) tussen Onderwaterdrains op de sloot (OWD-sloot, groen), Pompgestuurde onderwaterdrains (OWD-pomp, rood) en de Referentie (blauw) voor perceel 15 (links) en perceel 16 (rechts) bij een drooglegging van 55 cm. Het modelbereik voor Delta Ref en Delta OWD is gesteld op +25 cm tot -25 cm. Extrapoleren met waarden > 25 cm voor Delta Ref geeft risico op onbetrouwbare resultaten.

De figuren laten zien dat voor *Onderwaterdrains op de sloot* het effect in het zomer- en het winterhalfjaar even groot was. Voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* was het effect in het zomerhalfjaar aanmerkelijk groter dan in het winterhalfjaar, welke gekwantificeerd wordt door de kwadratische term uit de polynoom relatie.

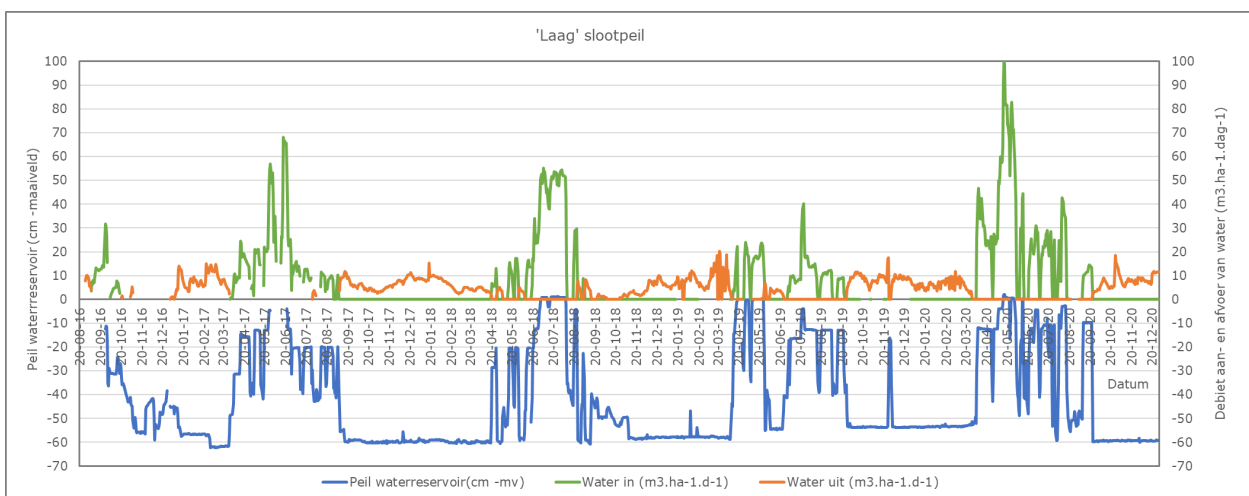
Op basis van de modelparameters uit Tabel 7 zijn in Bijlage 7 per proefperceel per drainbehandeling de meetwaarden en de modelfit weergegeven in de tijd voor de gehele proefperiode 2016-2020. De grafieken laten vooral voor *Onderwaterdrains op de sloot* een goed vergelijk van de modelfit met de gemeten grondwaterstanden zien.

### 3.3 Watergebruik

De hoeveelheid water die per ontwateringssituatie het waterreservoir in- en uitgepompt werd van en naar het oppervlaktewater werd automatisch gemeten en geregistreerd met debietmeters. In Figuur 3.10 en 3.11 staat voor respectievelijk het hoge en lagere slootpeil de hoeveelheden water die dagelijks de waterreservoirs in of uitgepompt werden in de proefperiode van 22 juni 2016 tot en met 20 december 2020. Het gehanteerde peil in de waterreservoirs is eveneens weergegeven. Overigens is de datareeks op een aantal momenten onderbroken door storing in de apparatuur.



**Figuur 3.10** Dagelijkse hoeveelheid water ( $m^3$  per ha per dag;  $1 m^3/dag = 0,1 mm/dag$ ) die de waterreservoirs in- en uitgepompt werd bij het hoge slootpeil met een drooglegging van 20 cm beneden maaiveld in de periode van 22 juni 2016 tot en met 20 december 2020.



**Figuur 3.11** Dagelijkse hoeveelheid water ( $m^3$  per ha per dag;  $1 m^3/dag = 0,1 mm/dag$ ) die de waterreservoirs in- en uitgepompt werd bij het lage slootpeil met een drooglegging van 55 cm beneden maaiveld in de periode van 22 juni 2016 tot 20 december 2020.

Vooraf de totale hoeveelheden water die via de waterreservoirs ingepompt werden, verschilden aanzienlijk tussen beide slootpeilen. De maximale en de gemiddelde hoeveelheid water die de waterreservoirs in en uitgepompt werd bij het hoge en lage slootpeil in de periode van 22 juni 2016 tot 20 december 2020 staat in Tabel 9.

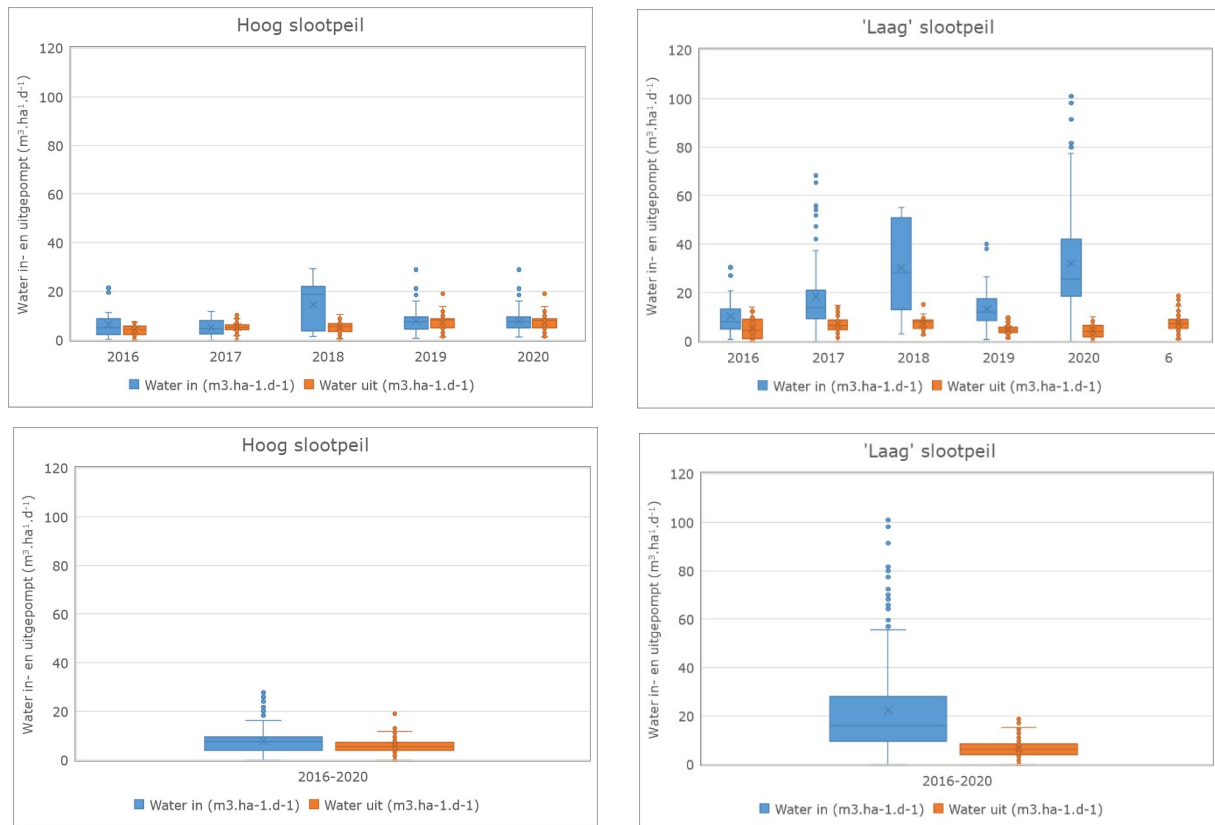
**Tabel 9** Maximale, gemiddelde en totale hoeveelheid water ( $m^3$  per ha per dag) die de waterreservoirs in en uitgepompt werden bij het hoge en lage slootpeil in de periode van 22 juni 2016 tot en met 20 december 2020.

	Hoog slootpeil (20 cm beneden maaiveld)		Laag slootpeil (55 cm beneden maaiveld)	
	Ingepompt ( $m^3$ )	Uitgepompt ( $m^3$ )	Ingepompt ( $m^3$ )	Uitgepompt ( $m^3$ )
Maximaal	29	19	101	20
Gemiddeld	7,9	5,7	22,4	6,5
Totaal	3100	4423	11022	5597

De totale en maximale ingepompte hoeveelheid water was bij het lage slootpeil respectievelijk 3,6 en 3,5 keer groter dan bij het hoge slootpeil. Gemiddeld per dag werd bij het lage slootpeil 2,8 keer zoveel water ingepompt. De ingepompte hoeveelheid water was enerzijds hoger door extra infiltratie vanuit de sloot met een hoog peil en anderzijds door extra drainage vanuit de perceelsbodem naar de sloot bij een laag slootpeil. In feite werd water rondgepompt vanuit de sloot in het waterreservoir, via de onderwaterdrains en de bodem

terug naar de sloot. De totale uitgedpompte hoeveelheid was voor het lage slootpeil 1,3 keer hoger dan voor het hoge peil. Maximaal en gemiddeld per dag werd 1,1 keer zoveel water uitgedpompt als bij het hoge slootpeil.

De variatie in de in- en uitgedpompte hoeveelheden staat weergegeven in Figuur 3.12. In de bovenste twee grafieken staan per weerjaar de in- en uitgedpompte hoeveelheden per dag voor respectievelijk de percelen met het hoge en lage slootpeil. In de onderste twee grafieken staan de gemiddelde resultaten voor de gehele reeks van proefjaren (2016-2020).



**Figuur 3.12** De in- en uitgedpompte hoeveelheid water per proefjaar in m<sup>3</sup> per ha per dag voor perceel 13 en 14 met een hoog slootpeil van 20 cm beneden maaiveld (linksboven) en voor perceel 15 en 16 voor een laag slootpeil van 55 cm beneden maaiveld (rechtsboven). De gemiddelde in- en uitgedpompte hoeveelheden voor de gehele reeks van proefjaren (2016-2020) staat voor perceel 13 en 14 met een hoog slootpeil linksonder en voor perceel 15 en 16 met een laag slootpeil rechtsonder. De weergegeven kaders en lijnen betreffen de verdeling van resultaten in kwartielen, met het gemiddelde en de uitschieters. De lijnen geven variabiliteit buiten het bovenste en onderste kwartiel aan.

De grafieken laten zien dat, voor wat betreft de ingepompte hoeveelheden, niet alleen de gemiddelde, maar ook de variatie in hoeveelheid per dag voor het lage slootpeil aanzienlijk groter was dan voor het hoge slootpeil.

### 3.4 Botanische samenstelling

In het najaar van de proefjaren 2017-2020 is de botanische samenstelling van de behandelingsobjecten bepaald. De resultaten per proefjaar staan in Bijlage 8. De resultaten laten geen systematische verandering van de botanische samenstelling zien als gevolg van de verschillende drainbehandelingen. Een verschuiving in de botanische samenstelling kan aanleiding zijn voor verschillen in de opbrengst en kwaliteit van gras. Ook wordt hierdoor de grasopname door melkvee beïnvloed.

In Tabel 10 staan de gemiddelde resultaten van de kartering per proefperceel per drainbehandeling voor de meest voorkomende grassen voor 2017-2020.

**Tabel 10** *Botanische samenstelling proefperceel 13 en 14 (hoog slootpeil) en 15 en 16 (laag slootpeil) voor de behandelingen Pompgestuurde drainage (a), Referentie (b) en Onderwaterdrains op de sloot (c) gemiddeld voor de proefperiode 2017-2020.*

Datum, bezetting en grassoort	13a	13b	13c	14a	14b	14c	15a	15b	15c	16a	16b	16c
Totale bezetting	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Engels raaigras	57	57	62	54	58	53	56	56	51	70	69	70
timotheegras	+	+	+	+	+	+	8	12	12	6	5	8
ruw beemdgras	23	22	20	24	24	23	17	14	16	13	13	11
kweekgras	3	2	3	5	4	4	2	1	2	1	2	1
fioringras	4	4	2	4	3	4	1	1	1	+	+	1
straatgras	10	12	11	8	8	10	7	8	8	6	8	7

+ soort is wel aangetroffen, maar met < 1 %

Engels raaigras is landbouwkundige de best gewaardeerde grassoort, timotheegras is een goed gewaardeerde grassoort, ruwbeemdgras wordt matig gewaardeerd en kweekgras wordt zeer slecht gewaardeerd. Straatgras en fioringras worden slecht gewaardeerd. Fioringras is een indicator voor natte omstandigheden. Binnen de percelen waren nauwelijks verschillen. Perceel 16 had een relatief hoog aandeel Engels raaigras, op perceel 15 en 16 kwam een substantieel aandeel timotheegras voor, in tegenstelling tot de perceel 13 en 14, en op perceel 13 was het aandeel straatgras relatief hoog.

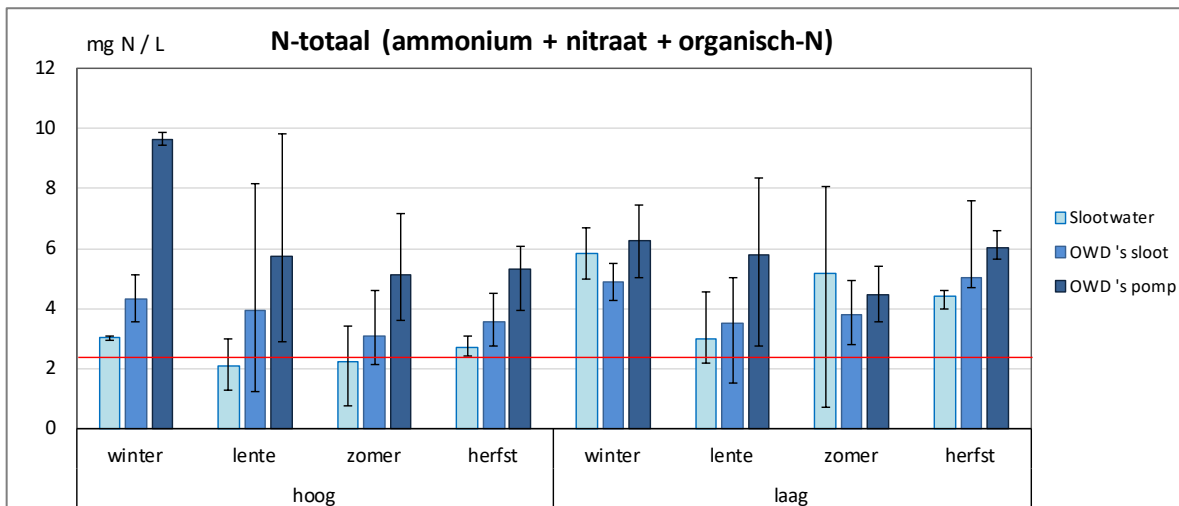
### 3.5 Waterkwaliteit

Het streven was om per kwartaal drie bemonsteringen uit te voeren. De bemonsteringen werden alleen uitgevoerd na een neerslagpiek, waarbij duidelijk water afgevoerd werd vanuit de bodem naar het oppervlaktewater. Aangezien dit veelal niet aan de orde was, zijn uiteindelijk relatief een beperkt aantal monsters genomen. De bemonsteringen staan in Tabel 11.

**Tabel 11** *Bemonsteringstijdstippen per jaar.*

2018	2019	2020
1 juni	18 februari	
30 augustus	3 april	
7 september	6 juni	
12 december	10 augustus	2 oktober
	21 oktober	3 november

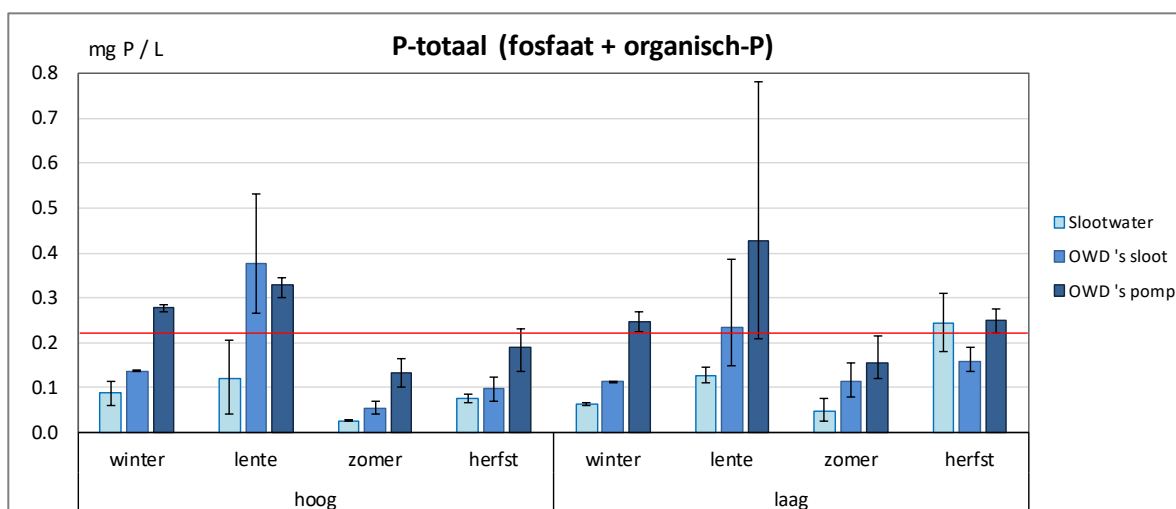
Het resultaat van de N-totaal concentraties in het bemonsterde water van de drie objecten per peilvariant staat in Figuur 3.13. Hiervoor zijn de resultaten van de monsters per kwartaal samengevoegd. De spreiding rond de gemiddelden is aangegeven met de error-bars die de minimale en maximale waarden aangeven. Het winterkwartaal had 2 monsters, het lentekwartaal 3, het zomerkwartaal ook 3 en het herfstkwartaal 3, waarvan 2 uit 2020. De invloed van de extra monsters in de herfst betrof voornamelijk een verhoging van de spreiding, maar had nauwelijks effect op de gemiddelden.



**Figuur 3.13** Gemeten N-totaal concentraties gemiddeld per kwartaal voor de Referentie (Sloopwater), Onderwaterdrains op de sloot (OWD's sloot) en Pompgestuurde onderwaterdrains (OWD's pomp). De rode lijn is de streefnorm van 2,2 mg N/L.

Het meest opvallend is dat *Pompgestuurde onderwaterdrains* bijna altijd de hoogste stikstofconcentraties had. De concentraties van het slootwater (*Referentie*) waren meestal, maar niet altijd het laagst. Die van *Onderwaterdrains op de sloot* waren meestal intermediair en lagen dicht bij die van de sloot. Hierbij moet worden bedacht dat het water uit de sloot niet de concentraties heeft van het water dat diffuus uit en af de veenbodem stroomt. Neerslagwater direct op de sloot verdunt de af- en uitspoelingsconcentraties. Dit is relevant voor alle meettijdstippen, omdat deze verbonden zijn aan neerslagpieken. De lente-, zomer- en herfstconcentraties in de sloot worden ook verlaagd door biochemische processen en opname door de waterplanten en denitrificatie. Verder is het aantal monsters te klein om een consistent beeld uit af te leiden. Het beeld is dat tussen diffuse uitspoeling naar de sloot en *Onderwaterdrains op de sloot* het verschil gering is. De *Pompgestuurde onderwaterdrains* leken hogere concentraties te hebben, wat vrij waarschijnlijk wordt veroorzaakt door sterker 'aftappen' van nutriëntrijk water uit de bemeste toplaag van de bodem bij de hoge streefgrondwaterstand van 40 cm beneden maaiveld.

Het resultaat van de P-totaal concentraties in het bemonsterde water van de drie objecten per peilvariant staat in Figuur 3.14.

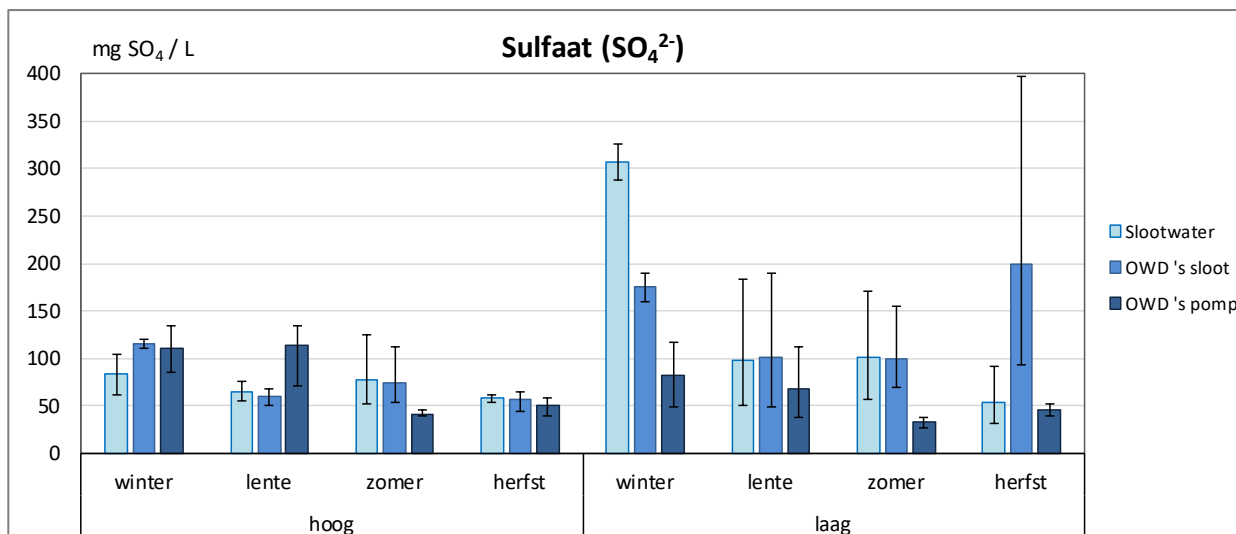


**Figuur 3.14** Gemeten totaal-fosforconcentraties gemiddeld per kwartaal voor de Referentie (Sloopwater), Onderwaterdrains op de sloot (OWD's sloot) en Pompgestuurde onderwaterdrains (OWD's pomp). De rode lijn is de streefnorm van 0,22 mg P/L.

Het beeld voor fosfor was ongeveer hetzelfde als voor stikstof. Bij de concentraties van fosfor in de sloot speelt nog mee, dat fosfaat kan worden vastgelegd in de slootbodem. Dit gebeurt vooral in herfst en winter.



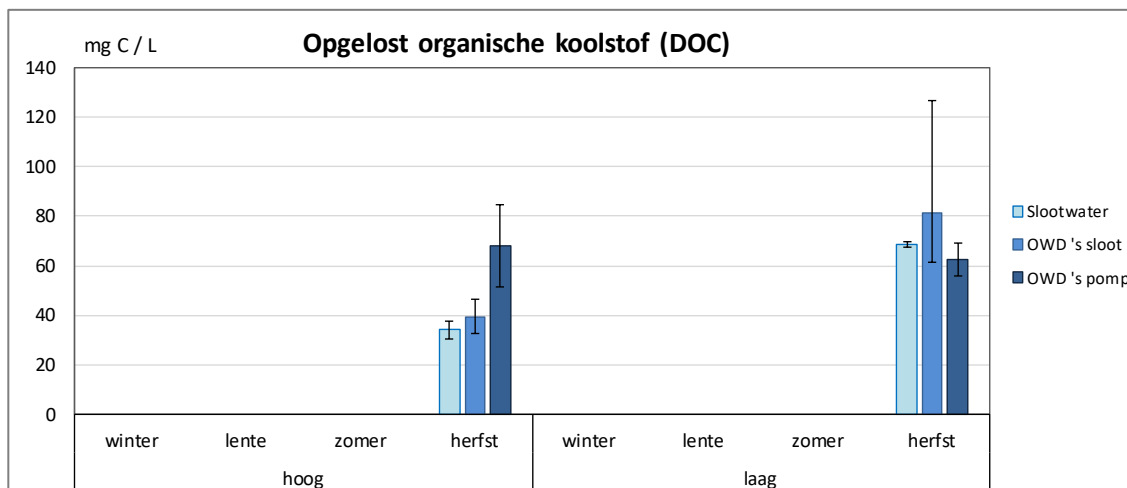
Het resultaat van de sulfaatconcentraties in het bemonsterde water van de drie objecten per peilvariant staat in Figuur 3.15.



**Figuur 3.15** Gemeten sulfaatconcentraties gemiddeld per kwartaal voor de Referentie (Slootwater), Onderwaterdrains op de sloot (OWD's sloot) en Pompgestuurde onderwaterdrains (OWD's pomp).

Voor de zwavelconcentraties was de verwachting dat zwavel vooral voorkomt als sulfaat, de meest mobiele vorm van zwavelverbindingen in de bodem. Hier was opvallend dat de *Pompgestuurde onderwaterdrains* meestal lagere concentraties lieten zien. Bij laag peil was dit consequent voor alle vier kwartalen het geval. Dit is illustratief voor het sterk verlagende effect van vernatting op de concentraties door deze drainbehandeling, waardoor de oxidatie van pyriet (Fe<sub>2</sub>S) tot sulfaat door de hogere grondwaterstanden afneemt. Vooral bij een laag slootpeil zonder onderwaterdrains was deze oxidatie groot. *Pompgestuurde onderwaterdrains* lieten het grootste verschil zien met de *Referentie* en *Onderwaterdrains op de sloot*. Uit eerdere metingen is bekend dat de veenbodem in Zegveld substantiele hoeveelheden pyriet bevat. Eén monster bij het lage slootpeil voor *Onderwaterdrains op de sloot* betrof een afwijkende waarde en verhoogde de spreiding sterk naar de hoge kant.

Het resultaat van de concentraties opgelost organische koolstof (DOC) in het bemonsterde water van de drie objecten per peilvariant staat in Figuur 3.16.



**Figuur 3.16** Gemeten opgelost organisch-koolstofconcentraties gemiddeld per kwartaal voor de Referentie (Slootwater), Onderwaterdrains op de sloot (OWD's sloot) en Pompgestuurde onderwaterdrains (OWD's pomp).

DOC is een zekere maat voor de afbraak van de organische stof. Het is een tussenstation in de totale afbraak tot CO<sub>2</sub>. Het wordt echter heel snel afgebroken en is zeer mobiel. Het is daarom moeilijk om er preciese kwantitatieve conclusies aan te verbinden zonder inzet van een procesgeoriënteerd model. Toch geeft het beeld van Figuur 3.16 een indruk: bij het lage peil zijn de concentraties hoger dan bij het hoge peil. Een globale aanwijzing voor meer afbraak bij het lage peil in de zomer. Let wel: het gaat hierbij om slechts twee monsters (herfst 2020).

### 3.6 Webapplicatie pompaansturing

In het project is een prototype webapplicatie gerealiseerd waarmee melkveehouders op veengrond pompgestuurde onderwaterdrains kunnen aansturen voor het minimaliseren van maaiveldval, CO<sub>2</sub>-emissie en het verbeteren van draagkracht van de graszode voor berijding en beweiding. Het scherp kunnen sturen op de grondwaterstand vraagt inzicht in de actuele grondwaterstand, de weersverwachting en de vochttoestand van de bovengrond. Hiertoe is een webapplicatie ontwikkeld die de actuele bodemvochttoestand en de grondwaterstand voorspelt. De applicatie met de werknaam 'Reverse Drain' laat zien wanneer de bovengrond relatief nat is en een onvoldoende draagkracht heeft en wanneer de bodem relatief droog is, waarbij CO<sub>2</sub>-emissie zal toenemen door indringing van zuurstof in de bodem. De neerslagverwachting en de actuele bodemvochttoestand zijn de belangrijkste sturingsparameters.

Voor de bodemvochtvoorspelling wordt gebruik gemaakt van WATBALsig (niet gepubliceerd) van Wageningen Environmental Research. WATBALsig is een eenvoudig toe te passen waterbalansmodel voor een onverzadigd-verzadigd bodemprofiel, dat afgeleid is van het model WATBAL (Berghuis-van Dijk, 1985). WATBAL is toegerust op complexe hydrologische situaties, zoals dat voor veengrond het geval is. Het model berekent niet alleen de bodemvochttoestand, maar geeft ook een schatting van de grondwaterstand, welke getoetst kan worden aan metingen in het veld. In het kader van het project is het model aangepast, zodat het om kan gaan met infiltratie vanuit zowel sloten, als drainbuizen, als greppels en waterreservoirs voor *Pompgestuurde onderwaterdrains*. Met het bodemvochtmodel wordt niet alleen de actuele situatie ingeschat, maar wordt ook de weersverwachtingstermijn doorgerekend. Daarmee wordt het model voorspellend en kan op de weersverwachting geanticipeerd worden.

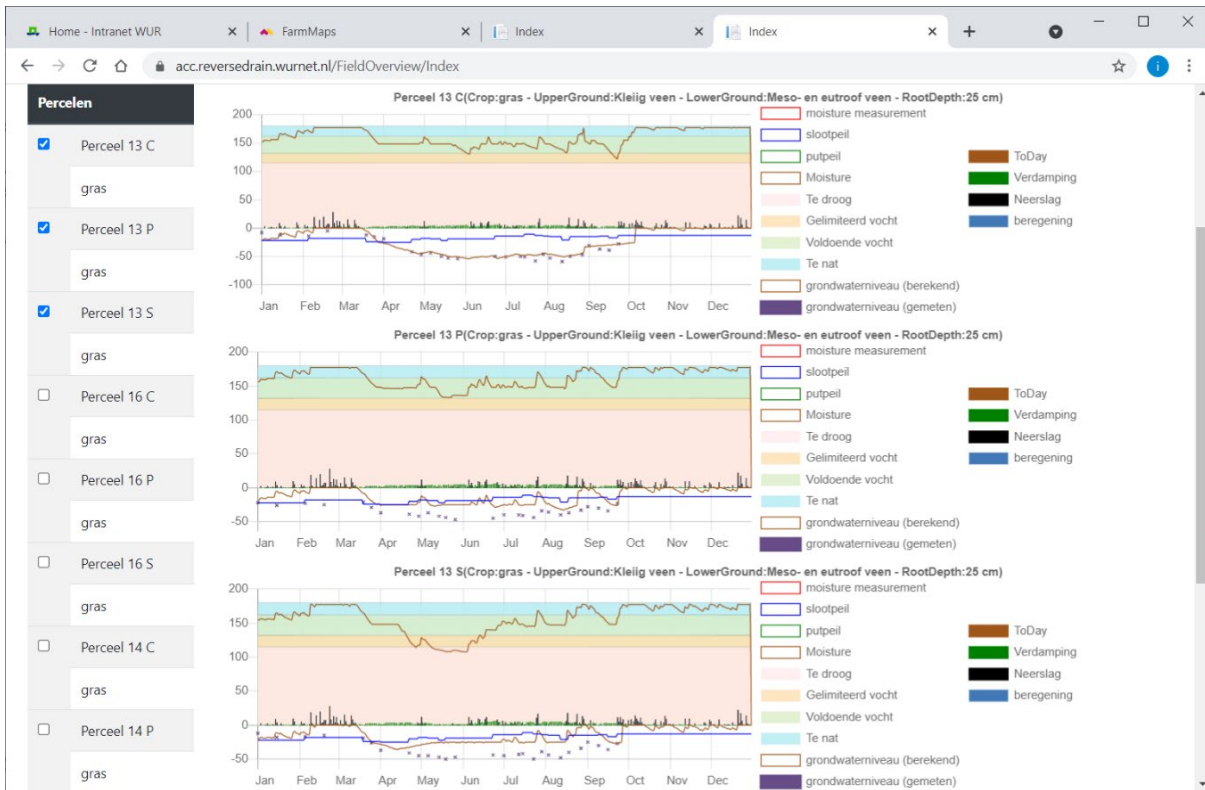
Reverse Drain is webbased en haalt automatisch data op aan de hand van de perceelspolygonen van een melkveebedrijf voor bodemfysica, hydrologie, het peil in het waterreservoir en het weer om een bodemvochtbalans te kunnen berekenen. Voor de bodemfysica wordt gebruik gemaakt van de BOFEK-kaart, welke afgeleid is van de 1:50.000 bodemkaart en de zogenaamd Staringreeks bouwstenen weergeeft voor de boven- en ondergrond (Wösten et al., 2013). Voor de weerdata (historisch en verwachting) wordt gebruik gemaakt van IBM-weerdata die beschikbaar is via het internetplatform Akkerweb (<https://akkerweb.eu/>) dat

bij Wageningen Research in ontwikkeling is. De historische neerslag wordt door IBM betrokken van radardata (grid van 2,4 km). De gewasverdamping is gebaseerd op de formule van Makkink (Makkink, 1957). De bodem- en hydrologieparameters worden door Reverse Drain automatisch ingelezen vanuit de webservice GEOHUB (niet gepubliceerd), die bestaat uit digitaal kaartmateriaal en beheerd en onderhouden wordt door WEnR. De parameters waar WATBALsig gebruik van maakt staan in Tabel 12.

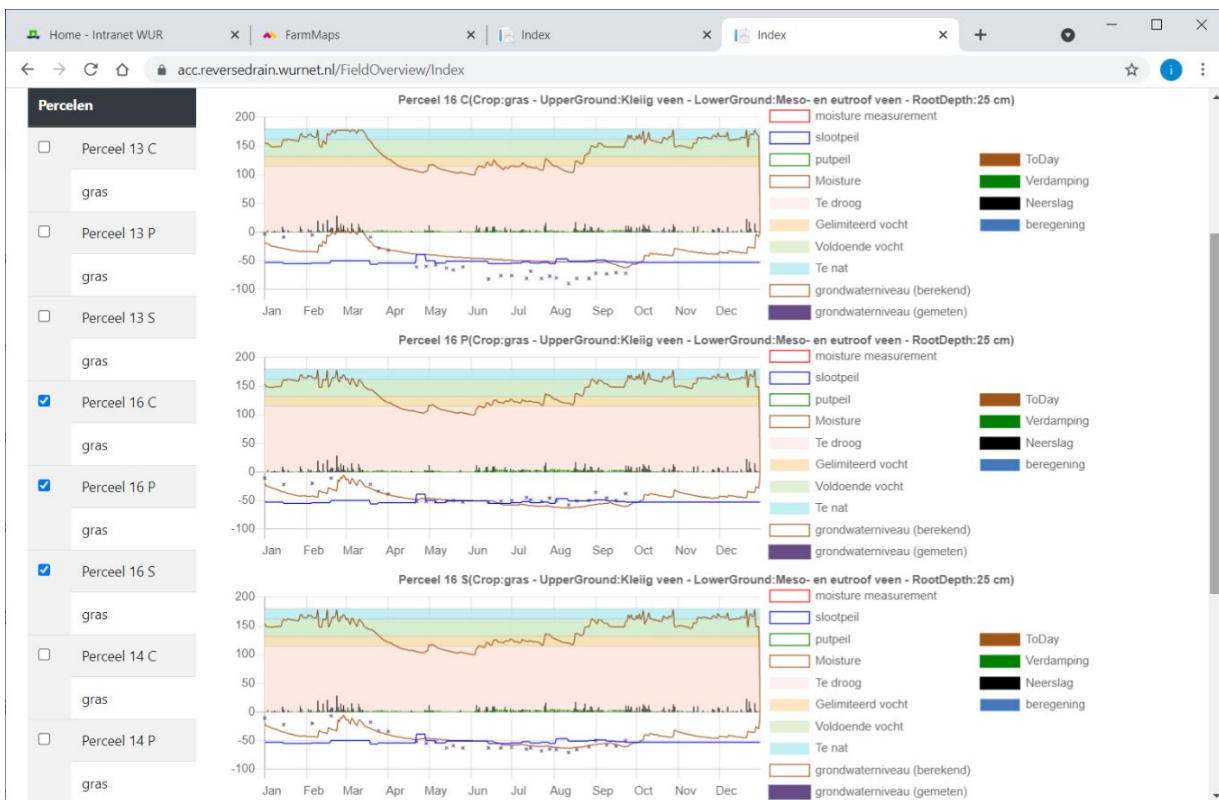
**Tabel 12** Benodigde parameters bodemvochtbalansmodel WATBALsig.

Parameter	Eenheid
Bovengrond (staringreeks, B1 - B18)	-
Ondergrond (staringreeks, O1 - O18)	-
Worteldiepte in cm onder maaiveld	-
Aanwezigheid sloot (1)	-
Aanwezigheid drainage buizen (0/1)	-
Aanwezigheid greppels (0/1)	-
Kwel (-) /wegzijing (+)	m/d
Gemiddelde hoogste grondwaterstand in cm onder maaiveld	cm-mv
Gemiddelde laagste grondwaterstand in cm onder maaiveld	cm-mv
Slootdiepte in cm onder maaiveld	cm-mv
Draindiepte in cm onder maaiveld	cm-mv
Greppeldiepte in cm onder maaiveld	cm-mv
Drainafstand (wordt nog niet opgegeven)	m
Drainageweerstand sloten in dagen	d
Drainageweerstand buizen in dagen	d
Drainageweerstand greppels in dagen	d
Infiltratieweerstand sloten in dagen	d
Infiltratieweerstand buizen in dagen	d
Infiltratieweerstand greppels in dagen	d

De gemeten gemiddelde grondwaterstand per meetdatum per object per perceel zijn in het programma ingevoerd om de gesimuleerde grondwaterstanden met Revers Drain aan te kunnen toetsen. Screenshots van de resultaten voor perceel 13 (hoog slootpeil) en perceel 16 (laag peil) staan respectievelijk in Figuur 3.17 en 3.18. In Bijlage 9 staan de resultaten van perceel 13-16 voor de weerjaren 2016-2020.



**Figuur 3.17** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 13 bij een drooglegging van 20 cm in 2020.



**Figuur 3.18** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 16 bij een drooglegging van 20 cm in 2020.

De figuren tonen dat de werkelijke grondwaterstanden redelijk gesimuleerd konden worden, maar dat er ook afwijkingen waren. Dit betrof veelal een niveauverschil tussen de werkelijke en de gesimuleerde grondwaterstanden en dat kon zowel positief als negatief zijn.

### 3.7 Maaiveldddaling en broeikasgasemissies

Op basis van Van den Akker *et al.* (2007, 2008) is een schatting van de reductie van maaiveldddaling, CO<sub>2</sub>- en N<sub>2</sub>O-emissie berekend met respectievelijk de formules 1 en 4 uit paragraaf 2.8. Deze formules gaan uit van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), welke berekend wordt op basis van minimaal 8 jaar. Door de kortere duur van de proef is de GLG berekend op basis van vijf jaar. De resultaten staan in Tabel 13.

**Tabel 13** De GLG en de op basis hiervan geschatte maaiveldddaling, CO<sub>2</sub>- en N<sub>2</sub>O-emissie per perceel voor de proefperiode 2016-2020 en het percentage reductie van maaiveldddaling, CO<sub>2</sub>- en N<sub>2</sub>O-emissie voor de drainbehandelingen ten opzichte van de Referentie.

	Hoog slootpeil (20 cm -mv)		Laag slootpeil (55 cm -mv)	
	Perceel 13	Perceel 14	Perceel 15	Perceel 16
<i>GLG (cm -mv)</i>				
Referentie	61	55	61	80
OWD pomp	43	49	44	55
OWD sloot	50	50	61	68
<i>Maaiveldddaling (mm)</i>				
Referentie	7.9	6.3	7.9	13.0
OWD pomp	3.0	4.5	3.1	6.1
OWD sloot	4.9	4.8	8.0	9.7
<i>CO<sub>2</sub>-emissie (t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup>)</i>				
Referentie	17.9	14.2	17.8	29.5
OWD pomp	6.7	10.2	7.0	13.8
OWD sloot	11.1	10.9	18.0	21.9
<i>NO<sub>2</sub>-emissie (t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup>)</i>				
Referentie	2.0	1.6	2.0	3.3
OWD pomp	0.8	1.2	0.8	1.6
OWD sloot	1.3	1.2	2.0	2.5
<i>Reductie maaiveldddaling en emissies van CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O (%)</i>				
OWD pomp	62	28	61	53
OWD sloot	38	24	-1	26

De geschatte reductie van maaiveldddaling en CO<sub>2</sub>-emissie was voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* aanmerkelijk groter dan voor *Onderwaterdrains op de sloot*. Voor perceel 15 object *Onderwaterdrains op de sloot* was geen reductie door de relatief hoge grondwaterstanden voor de *Referentie* (zie Discussie paragraaf 4.3). Ook voor perceel 14 was de GLG van de *Referentie* relatief hoog waardoor de berekende reducties eveneens relatief laag waren.

## 3.8 Draininspectie

De drains van *Onderwaterdrains op de sloot* waren, op enkele niet-stromingsbelemmerende luchtbellens na, geheel watervoerend. Hoewel deze luchtbellens niet de gehele doorsnede van de drain innemen, zullen de luchtbellens wel een vertragende werking hebben op de infiltratie of drainage en de doorstroomcapaciteit van de drain. Over het algemeen was een niet al te dikke sliblaag aanwezig, dunner wordend verder in de buis, welke bestond uit een combinatie van zeer fijn en iets grover slib. Verder was voor de meeste buizen een duidelijke verkleuring waarneembaar van de drainwand. Dit alles duidde op een afwisseling van infiltratie en drainage, zoals ook werd beoogd. Verder viel op dat beduidend meer wortels door de drainwand kwamen bij het lage slootpeil. Dit had mogelijk te maken met een grotere verzadigde zone (en dus minimale wortelgroei) bij het hoge slootpeil. Ook dit wees erop dat deze drains functioneerden; er werd gemiddeld een hoger grondwaterpeil gevormd bij hoge slootpeilen. In een aantal drains werden vormen van aquatisch leven gevonden (visjes, slakken), maar niet in belemmerende mate. Over het algemeen zagen deze drains er goed uit. De oostelijke bezinkput van perceel 14 was gebarsten, wat verholpen is om te voorkomen dat bodemmateriaal instroomt in het drainagesysteem. In Tabel 14 staat een samenvatting van de bevindingen voor *Onderwaterdrains op de sloot*.

**Tabel 14** *Beoordeling waarnemingen drains Onderwaterdrains op de sloot met een schaal van - - tot ++, waarbij - - aangeeft dat iets niet is waargenomen en ++ aangeeft dat iets veel is waargenomen. Een vraagteken betekent dat een waarneming niet verricht kon worden. Per perceel zijn drie waarnemingen gedaan te weten west (W), midden (M) en oost (O).*

	Hoog slootpeil						Laag slootpeil					
	Perceel 13			Perceel 14			Perceel 15			Perceel 16		
	W	M	O	W	M	O	W	M	O	W	M	O
Luchtbel voorin	+	+	+	-	+	?	+	+	?	-	-	0
Luchtbel verderop in drain	+	-	0	--	+	--	0	--	0	--	--	--
Dikte sliblaag voorin	+	++	+	++	0	++	-	+	0	0	+	0
Dikte sliblaag achterin	-	-	-	+	0	+	-	0	-	0	0	-
Hechting op wanden	+	+	0	+	0	+	++	+	+	+	0	--
Vervorming drainbuis	--	--	-	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Wortels in drain	-	--	--	-	0	-	++	++	++	0	0	0
Aquatisch leven	--	--	--	++	--	-	--	--	--	0	+	++

In de drains van *Pompgestuurde onderwaterdrains* was veelal een grote hoeveelheid lucht aanwezig; sommige drains stonden zelfs gedeeltelijk droog. Dit kan de stroming sterk belemmeren. Aangezien in de periode voorafgaand aan de meting veel neerslag gevallen was, werd water actief uitgepompt. Het is daarbij belangrijk dat het waterpeil in het waterreservoir niet onder het drainniveau uitkomt. De hoeveelheid lucht in de drains suggereerde echter dat dit wel is gebeurd. Nagenoeg iedere drain is eerder wel volstromend geweest, getuige afzettingen op de wand. Echter, bij een aantal drains was ook duidelijk dat het waterniveau al langere tijd stabiel was, getuige de aanwezigheid van grote luchtbellens. Deze bellens moeten ruim voor de laatste keer 'draineren' al gevormd zijn. Dit illustreert dat het zeer moeilijk is om lucht uit de drain te krijgen wanneer dit eenmaal aanwezig is. Verder was de dikte van de sliblaag opmerkelijk. In de percelen 13 en 14 was deze al fors te noemen en in percelen 15 en 16 leken deze stromingsbelemmerend te zijn. De putten in perceel 16 waren dusdanig vol, dat stroming van water door de verzamel drain ernstig werd gehinderd (zie Figuur 3.19).



**Figuur 3.19** Links: hoge waterpeilen na verwijderen deksel van bezinkput op perceel 14 bij Onderwaterdrains op de sloot. Rechts: put gevuld met slib en amper water op perceel 16 bij Pompgestuurde onderwaterdrains.

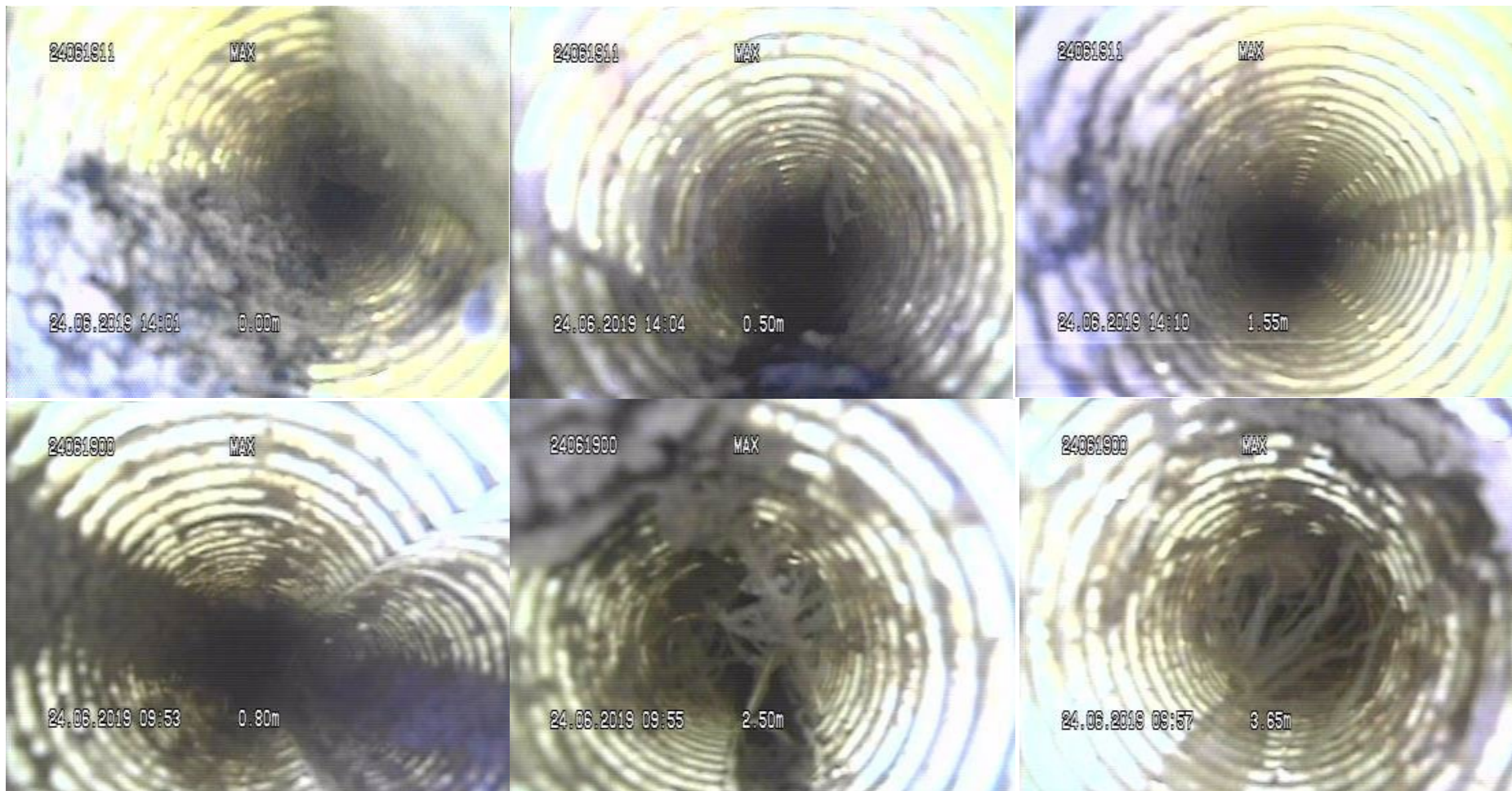
Na het oplichten van de deksels van de bezinkputten duurde het één tot enkele uren voordat zich een plas water begon te vormen in de gegraven gaten, wat in andere putten binnen enkele seconden gebeurd was. Dit was reden tot zorg. De bron van het materiaal in de drains kon ofwel de sloot zijn, waar het via de pomp het waterreservoir werd ingepompt, ofwel een grote instroming van veenmateriaal van rondom de drains door het actief leegtrekken van de drains tijdens het draineren. Aangezien er stukjes stro en dergelijke aangetroffen werden in de drains, leek de eerste mogelijkheid in ieder geval te spelen. Dit betekende dat meer onderhoud nodig was om de pompen vrij te houden van vuil. In Tabel 15 staat een samenvatting van de bevindingen voor *Pompgestuurde onderwaterdrains*.

**Tabel 15** Beoordeling waarnemingen drains Pompgestuurde onderwaterdrains met een schaal van - - tot ++, waarbij - - aangeeft dat iets niet is waargenomen en ++ aangeeft dat iets veel is waargenomen. Een vraagteken betekent dat een waarneming niet verricht kon worden. Per perceel zijn drie waarnemingen gedaan te weten west (W), midden (M) en oost (O).

	Hoog slootpeil						Laag slootpeil					
	Perceel 13			Perceel 14			Perceel 15			Perceel 16		
	W	M	O	W	M	O	W	M	O	W	M	O
Luchtbel voorin	++	++	+	?	+	++	+	0	0	?	?	++
Luchtbel verder in drain	++	++	++	+	+	++	?	?	?	?	?	+
Dikte sliblaag voorin	+	++	+	++	++	++	++	++	++	++	++	+
Dikte sliblaag achterin	+	0	-	++	++	++	++	++	++	++	++	0
Hechting op wanden	+	++	++	++	++	++	?	?	?	?	?	+
Vervorming drainbuis	--	--	--	--	++	--	?	?	?	?	?	+
Wortels in drain	--	--	--	-	--	-	?	?	?	?	?	-
Aquatisch leven	--	--	--	--	--	--	?	?	?	?	?	--

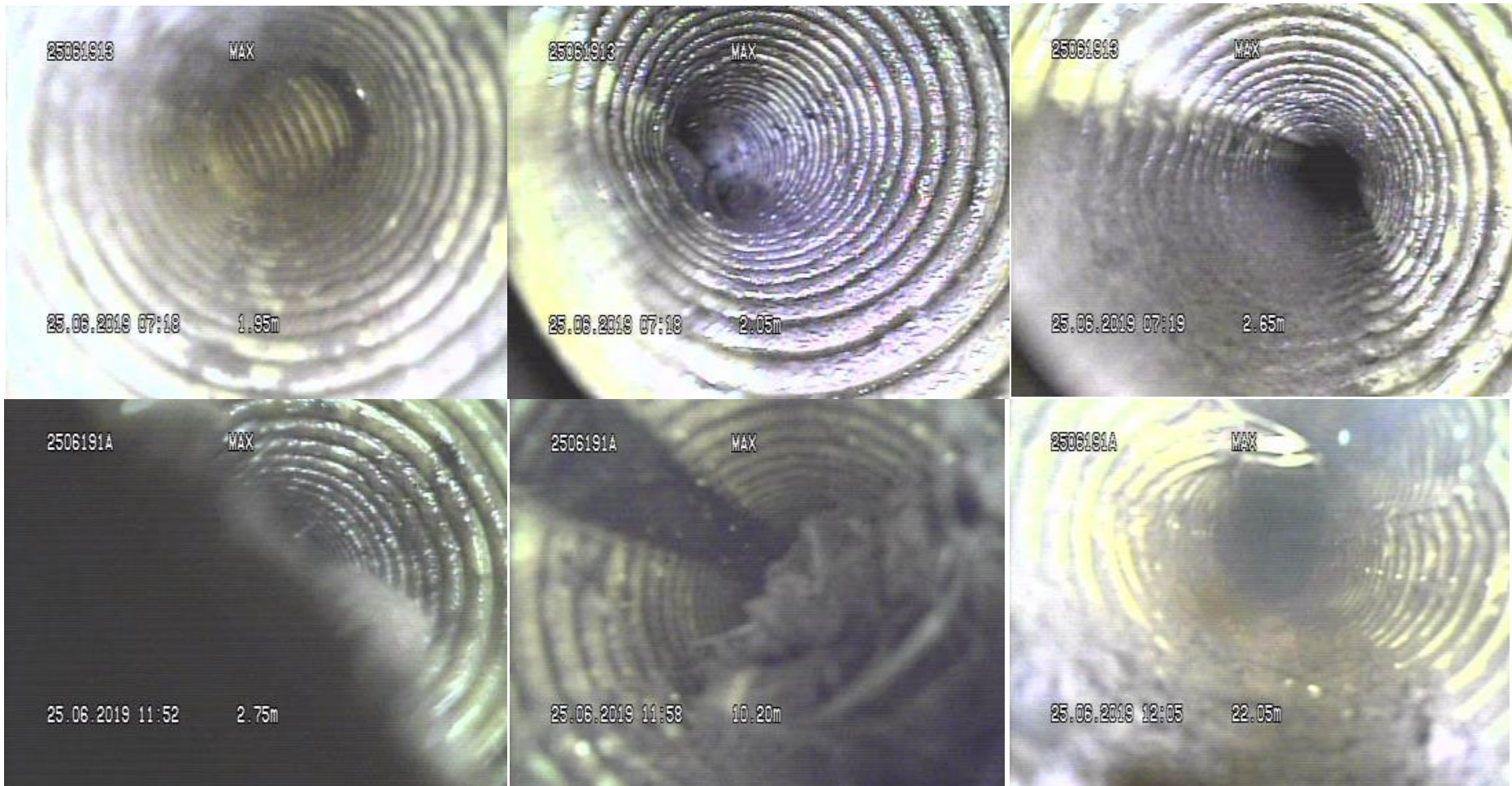
De drains leken over het algemeen goed vlak te liggen, een enkele uitzondering daargelaten. Wat opviel was dat de monding van de drains in de put in alle gevallen beduidend lager lag dan de rest van de drain. Dit bemoeilijkt het verwijderen van lucht uit de drains. In veel gevallen lag de drain ook hoger dan de bovenkant van de put. In twee gevallen werd een 'deuk' in de drains waargenomen, waar de camera in één geval (Perceel 14 *Pompgestuurde onderwaterdrains* Midden) niet langs kon. In dit geval was deze ruimte volledig gevuld met lucht.

Figuur 3.20 en 3.21 laten voor respectievelijk *Onderwaterdrains op de sloot* en *Pompgestuurde onderwaterdrains* camerabeelden zien waarop wortelgroei, aanhechting van materiaal op wanden en verschillende maten van vervuiling met slib (donkere vlekken) te zien zijn.



**Figuur 3.20** Camerabeelden van drains van de behandeling Onderwaterdrains op de sloot. De beelden zijn niet recht, maar in het algemeen gekanteld. Te zien zijn wortelgroei, aanhechting van materiaal op wanden en verschillende maten van vervuiling met slib (donkere vlekken). Linksonder is een spiegeling op wateroppervlakte te zien, wat aangeeft dat er een luchtbel aanwezig is.





**Figuur 3.21** Camerabeelden van drains van de behandeling Pompgestuurde onderwaterdrains waarop wortelgroei, aanhechting van materiaal op wanden en verschillende maten van vervuiling met slib (donkere vlekken) en luchtinsluiting te zien zijn.

---

## 4 Discussie

### 4.1 Proefopzet

De proefpercelen zijn in de gehele lengte uitgerust met drainbuizen, waarbij voor de *Referentie* de drainbuizen waren afgesloten. De vraag is echter of de buizen alsnog een rol hebben gespeeld in het aanvoeren van grondwater van belendende drainbehandelingen waarbij de grondwaterpeilen hoger waren. Verwacht wordt dat dit effect gering geweest zal zijn, maar achteraf zou het beter geweest zijn dat op de Referentiebehandelingen geen drainbuizen waren aangelegd.

### 4.2 Maaiveldhoogte

Binnen percelen bestonden verschillen tussen de drainobjecten in maaiveldhoogte (0-7 cm) bij een gelijk slootpeil. Voor de interpretatie van verschillen in grondwaterstanden moest zodoende hier voor gecorrigeerd worden, om effecten op de grondwaterstand zoveel mogelijk toe te kunnen schrijven aan de drainbehandelingen. In principe kan één van de maaiveldhoogtes als referentie gekozen worden, maar dan wordt geen rekening gehouden met de invloed van drooglegging op het hydrologische systeem in de bodem. Als compromis zijn zodoende de grondwaterstanden weergegeven ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van het betreffende perceel.

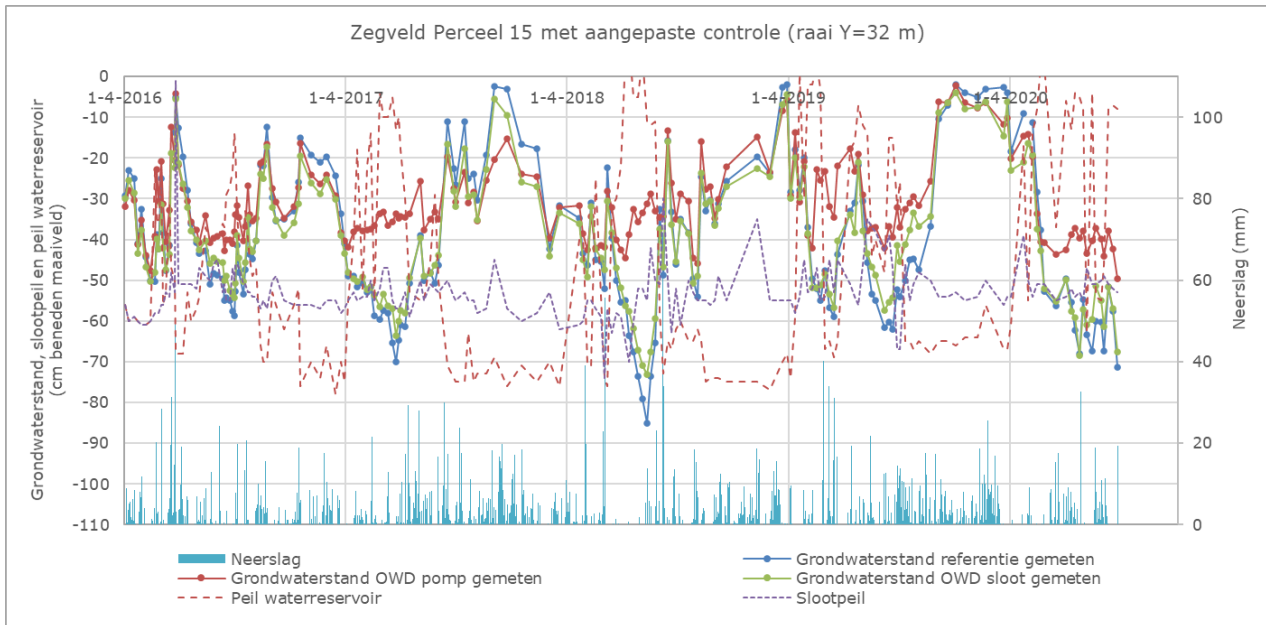
### 4.3 Grondwaterstanden

Voor het bepalen van het effect van verschillende drainbehandelingen op de grondwaterstand zou idealiter in de veldproef de doorlatendheid (*k*-waarde) binnen de percelen ongeveer gelijk moeten zijn. Dit was echter niet het geval en is in de praktijk lastig te realiseren door variatie tussen en binnen percelen. De situering van de twee peilniveaus en de aanwezigheid van elektriciteit maakten dat de betreffende percelen het meest geschikt waren voor het uitvoeren van het onderzoek.

*Pompgestuurde onderwaterdrains* hadden een extra drainerend en infiltrerend effect ten opzichte van *Onderwaterdrains op de sloot*. Dit betekent dat een groter drukverschil tussen oppervlakpeil en grondwaterstand de water aan-en afvoer daadwerkelijk vergrootte. De infiltratie-effecten verschilden tussen de jaren afhankelijk van het neerslagtekort in de zomerperiode. Tussen percelen verschilden de resultaten door verschillen in doorlatendheid. Zo had perceel 16 beduidend hogere *k*-waarden dan de andere percelen, waardoor de drainerende en infiltrerende werking op dit perceel relatief goed was. Bij een drainafstand van 4 m in plaats van 6 m zou het effect van de drainbehandelingen op het verhogen van de grondwaterstand wellicht nog groter geweest zijn. *Pompgestuurde onderwaterdrains* hadden bij het lage slootpeil een significant hoger effect op de gemiddelde grondwaterstand dan bij het hoge slootpeil. Door relatief grote verschillen in infiltratiesnelheid en de zomergrondwaterstand van de *Referentie* tussen proefpercelen had het slootpeil geen effect op de werking van *Onderwaterdrains op de sloot*.

Tijdens forse neerslagpieken steeg het grondwaterpeil bij *Pompgestuurde onderwaterdrains* tot dicht onder het maaiveld, vergelijkbaar met *Onderwaterdrains op de sloot*, echter de duur was korter waardoor sneller een voldoende draagkracht van de graszode voor berijding en beweiding werd bereikt.

Op percelen 13, 14 en 16 nivelleerden *Onderwaterdrains op de sloot* het grondwaterstandsverloop ten opzichte van de *Referentie*. Op perceel 15 hadden *Onderwaterdrains op de sloot* echter nauwelijks effect. Het bleek dat, ondanks dat de omringende sloten van perceel 15 een peil hadden van 55 cm beneden maaiveld, de grondwaterstanden van de *Referentie* aan de kant van perceel 14 (met een hoog slootpeil) verhoogd werden. Blijkbaar had de sloot met hoog peil aan westzijde van de bedrijfsweg langs perceel 14 nog veel invloed op de grondwaterstand in perceel 15, ondanks de sloot aan de oostzijde van de bedrijfsweg met een laag peil. Wanneer voor de *Referentie* alleen de grondwaterstanden geselecteerd werden van de meetraai aan de kant van perceel 16, dan was wel een verschil zichtbaar (Figuur 4.1).



**Figuur 4.1** Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (referentie zonder onderwaterdrains, onderwaterdrains op de sloot en pompgestuurde onderwaterdrains), slootpeil en reservoirpeil voor perceel 15 bij een vast 'laag' slootpeil met een drooglegging van 55 cm. Voor de referentie is de raai met de gemeten grondwaterstanden geselecteerd aan de kant perceel 16 (Y=32) die niet leken te worden beïnvloed door de geringere drooglegging van perceel 14 en 13.

Figuur 4.1 laat zien dat, ten opzichte de referentiegrondwaterstanden van de raai aan de kant van perceel 16, *Onderwaterdrains op de sloot* wel een infiltrerend effect hadden. De mate van infiltratie was daarbij redelijk vergelijkbaar met die van *Onderwaterdrains op de sloot* van perceel 13 en 14. In 2017, maar vooral ook in de zomer van 2020 was de infiltratie bij het diepere slootpeil geringer. In 2018 was de infiltratie gelijk aan die van perceel 13 en 14.

De GLG en GHG zijn berekend door eerst per jaar de LG3 en de HG3 te berekenen en deze waarden vervolgens te middelen over de reeks van vijf jaren. Het protocol schrijft echter voor, dat de GLG en GHG over tenminste een reeks van tenminste acht weerjaren berekend moet worden. Met de kortere proefperiode van vijf jaar kon hier niet aan voldaan worden.

Voor de *Referentie* was de laagste grondwaterstand beduidend lager dan de GLG. Dit betekent dat incidenteel de grondwaterstand lage waarden bereikt. Op deze momenten gaat de intrede van zuurstof wel dieper in de bodem en zorgt dit voor extra veenafbraak.

## 4.4 Watergebruik

De hoeveelheid water die tijdens een neerslagtekort per dag de waterreservoirs ingepompt werd was bij het hoge slootpeil gemiddeld 2,8 keer zo klein als bij het lagere slootpeil. Dit is enerzijds te verklaren door extra infiltratie vanuit de sloot bij een hoog peil en anderzijds door extra drainage vanuit de bodem naar de sloot bij een laag slootpeil. Daarbij is de doorlatendheid van perceel 16 (laag peil) relatief hoog, waardoor het watertransport gemakkelijker verloopt. In feite werd geïnfilteerd water rondgepompt vanuit de sloot in het waterreservoir, via de onderwaterdrains en de bodem terug naar de sloot. Bij *Pompgestuurde onderwaterdrains* verdient het zodoende aanbeveling om het slootpeil ongeveer gelijk te laten zijn aan het streefpeil, in het geval van het onderzoek zou dat dus 40 cm beneden maaiveld geweest zijn.

## 4.5 Botanische samenstelling

De botanische kartering liet geen systematische verandering van de botanische samenstelling zien als gevolg van de verschillende drainbehandelingen. Blijkbaar was de bodemvochttoestand niet dusdanig verschillend

---

dat dit de aanwezigheid van grassoorten en het aandeel hiervan beïnvloed heeft. Het is de verwachting dat vooral vernatting een negatief effect op de botanische samenstelling heeft. Dit kan aan de orde zijn, wanneer bij de inzet van *Pompgestuurde onderwaterdrains* een hoger streefpeil voor de grondwaterstand wordt gehanteerd dan in de proef het geval was (40 cm beneden maaiveld). Bij een lager streefpeil daarentegen zou op termijn het aandeel waterminnende grassen kunnen afnemen.

## 4.6 Waterkwaliteit

Uiteindelijk waren nog te weinig monsters beschikbaar om een sluitend beeld van de effecten van klassieke de drainobjecten op uitspoelingsconcentraties van stikstof, fosfor en zwavel vast te stellen. De concentraties van stikstof en fosfor waren het laagst in de sloot. Deze werden echter beïnvloed door verlagende processen als verdunning met neerslagwater, biochemische processen en vastlegging. De *Pompgestuurde onderwaterdrains* lieten voor stikstof en fosfor meestal hogere concentraties zien dan die voor de *Referentie* en *Onderwaterdrains op de sloot*. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door het meer aftappen van mestwater door de hoge streefgrondwaterstanden. Om te beoordelen hoe groot dit nadelig effect in z'n totaliteit is, zou met een modelberekening een totaalbalans opgesteld moeten worden.

Het effectiever verlagen van oxidatieprocessen als veenoxidatie en pyrietoxidatie door *Pompgestuurde onderwaterdrains* ten opzichte van de twee andere behandelingen werd zichtbaar gemaakt door de consistent lagere sulfaatconcentraties bij *Pompgestuurde onderwaterdrains* bij het lage slootpeil.

Het niet meenemen van (opgeloste) koolstofverbindingen in de monsteranalyses was een omissie, omdat deze een beeld kunnen geven van de koolstofuitspoeling naar het oppervlaktewater waar deze verbindingen relatief snel kunnen worden omgezet in koolzuurgas (CO<sub>2</sub>) en zo een bijdrage aan de klimaatverandering kunnen leveren. Hieraan is enigszins voldaan door in 2020 DOC mee te nemen in de analyses. Dit gaf een aanwijzing dat DOC-uitspoeling hoger was bij het lage slootpeil. Het is niet mogelijk om hier een harde conclusie aan te verbinden doordat het slechts twee monsters betrof.

## 4.7 Peilaansturing

Voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* werd gebruik gemaakt van een waterreservoirs op perceel 14 en perceel 15 om het streefpeil voor de grondwaterstand te kunnen realiseren. De percelen die het gevoeligst waren voor vernatting werden als uitgangspunt genomen voor de peilaansturing. Voor het hoge en lage slootpeil waren dit respectievelijk perceel 13 en 15. Dit betekende dat de aansturing voor perceel 13 afhankelijk was van perceel 14 en de aansturing van perceel 16 van perceel 15. Aangezien de percelen verschillend reageerden kon niet op beide percelen het streefpeil van 40 cm beneden maaiveld gerealiseerd worden. Vooral perceel 15 werd snel te nat, waardoor op perceel 16 in de zomer de grondwaterstanden 10-20 cm lager waren dan het streefpeil.

Het streefpeil van 40 cm beneden maaiveld was een empirisch vastgesteld niveau, dat gold voor de betreffende proefpercelen. Op perceel 13 en 15 was bij deze grondwaterstand de draagkracht onder gemiddelde zomerse omstandigheden nog juist voldoende. Het doel was echter niet om de uiterste grondwaterstand voor draagkracht te toetsen, maar om te zien of het grondwaterpeil op een constant niveau gehouden kon worden, ongeacht de mate van neerslag en verdamping en de hoogte van het slootpeil.

Het sturen van het peil van de *Pompgestuurde onderwaterdrains* vroeg de nodige leerervaring, om enerzijds er voor te zorgen dat geen natte plekken in het land zouden ontstaan en anderzijds wel het streefpeil van 40 benaderd zou worden. De lagere grondwaterstanden dan het streefpeil, zoals die op perceel 13 en 14 in de zomers van 2017 en 2018 voorkwamen, kwamen doordat het peil in het waterreservoir of niet tijdig genoeg en/of niet hoog genoeg werd opgezet. Hierbij moet opgemerkt worden dat neerslagverwachtingen niet altijd uitkwamen waardoor soms later werd gereageerd met een peilaanpassing dan achteraf gewenst was geweest.

De uitvoering van het peilbeheer werd uitgevoerd volgens het peilregime op basis van de verwachte neerslag en de actuele grondwaterstand, zoals dat in paragraaf 2.3 is gedefinieerd (Tabel 2).

---

De classificatie van beide criteria is empirisch vastgesteld. Aanvankelijk werd een algoritme gehanteerd waarbij de beweging van het reservoirpeil min of meer omgekeerd evenredig was aan de beweging van het grondwaterpeil. Het bleek echter dat een grovere klassering met een 'aan-uit-systeem' praktischer uitvoerbaar was. Bovendien reageerde de grondwaterstand bij dit systeem sneller door een groter drukverschil tussen het reservoirpeil en de grondwaterstand.

Voor de uitvoering van de peilaansturing in de waterreservoirs dienen de referentiepeilbuizen op een representatieve locatie te staan, aangezien de grondwaterstanden lokaal behoorlijk kunnen variëren. Bij voorkeur meerdere buizen per perceel. Wanneer de grondwaterstanden in de referentiepeilbuizen afwijken van het perceelsgemiddelde zal de aansturing minder accuraat zijn.

Voor de uiteindelijk optimalisatie van het verminderen van veenafbraak en dientengevolge de CO<sub>2</sub>-emissie, zou de bodemvochttoestand leidend moeten zijn. De ontwikkelde webapplicatie maakt 'slim' sturen op basis van de verwachte bodemvochttoestand mogelijk, omdat deze de vochttoestand kan voorspellen. Onnodig water aanvoeren of afvoeren kan hiermee voorkomen worden.

Een belangrijk aandachtspunt bij de peilaansturing is dat het waterpeil in de sloot of het reservoir nooit onder de bovenkant van het infiltratiesysteem mag komen, om te voorkomen dat lucht in het infiltratiesysteem komt. Luchtinsluiting belemmert de werking van de drains.

## 4.8 Webapplicatie pompaansturing

In het kader van het project is WATBALsig doorontwikkeld om te kunnen rekenen met infiltratie vanuit onderwaterdrains, al of niet met het reguleren van een peil in een waterreservoir (pompgestuurde onderwaterdrains) en greppels. Dit is met succes geïmplementeerd en komt als effect duidelijk in de modelvoorspelling tot uiting.

Het programma voorzag in het kunnen aansturen van pompen van twee verschillende leveranciers, echter het aansturen van meerdere systemen vanuit één applicatie bleek gecompliceerd. De koppeling van data en de afstemming met twee partijen koste veel tijd en gaf technische problemen, aangezien de systemen van beide leveranciers volledig verschillend waren. De dubbele voorziening was inefficiënt en vergroete de kans op fouten. Conceptueel bleek dit niet de goede weg en het beeld is nu, dat niet een generiek programma meerdere regelsysteem moet kunnen aansturen, maar dat omgekeerd leveranciers van regelsystemen de intelligentie van het ontwikkelde programma aan hun installatie zouden moeten toevoegen.

Het programma Reverse Drain is in de eerste plaats gebruikt om inzicht te krijgen in de vochtthuishouding van de bodem en de grondwaterstand. Er bleek een sterke behoefte om de neerslagverwachting in de aansturing mee te kunnen nemen. Op basis van de modelmatige schatting van de bodemvochttoestand zouden in principe de pompen voor pompgestuurde onderwaterdrains automatisch aangestuurd kunnen worden, maar dit is nog niet doorgevoerd omdat eerst ervaring opgedaan moet worden met de bodemvochtvoorspelling. Het resultaat is een prototype applicatie dat de effecten van extra infiltratie van onderwaterdraintoepassingen en greppelinfiltratie tot uitdrukking brengt.

## 4.9 Maaiveldaling en broeikasgasemissies

De geschatte reductiepercentages voor maaiveldaling en broeikasgasemissies waren sterk afhankelijk van de hoogte van de GLG van de *Referentie*. Zo was deze voor perceel 15 met een laag slootpeil zeer hoog door invloed van een naastgelegen kavel met een hoog slootpeil, waardoor voor *Onderwaterdrains op de sloot* zelfs een negatieve reductie werd berekend. Ook voor perceel 14 waren de reducties relatief beperkt door een hoge GLG van de *Referentie* op dat perceel. De geschatte absolute maaiveldaling en emissies waren in deze gevallen lager en dat betekent dat de te behalen winst voor maaiveldaling en broeikasgasemissies ook lager was. Bij een drainafstand van 4 m in plaats van 6 m kan het verhogende effect van de drainbehandelingen op de grondwaterstand nog vergroot worden en daarmee de reductie van maaiveldaling en broeikasgasemissies.

---

Rondom de schattingen is een onzekerheid welke ontstond doordat grondwaterstanden wekelijks gemeten zijn, de variatie in maaiveldhoogtemetingen, waardoor maaiveldhoogteverschillen tussen behandelingen minder zeker vast te stellen zijn, het vaststellen van de GLG op basis van vijf jaren en de betrouwbaarheid van de relaties van Van den Akker (2007). In het kader van het project waarin het onderzoek is uitgevoerd, voerde het te ver om de onzekerheid van de schattingen voor maaiveldddaling en broeikasgasemissie te kwantificeren. De schattingen moeten zodoende beschouwd worden als een indicatie.

De werkelijke maaiveldddaling kan meer reduceren dan op basis van het verschil in GLG is geschat. Metingen van Van den Akker et al. (2007, 2010, 2012 en 2017) op KTC Zegveld bij een slootpeil van 55 cm beneden maaiveld op perceel 3 en bij een slootpeil van 20 cm beneden maaiveld op perceel 13, bij onderwaterdrains met een drainafstand van 4 m lieten respectievelijk een halvering en een vermindering van tweederde van de maaiveldddaling zien ten opzichte van de referentie zonder onderwaterdrains. Dit overtrof de verwachtingen, mogelijk omdat bij onderwaterdrains de verzadigde zone boven het grondwater ook hoger komt te liggen en het effect van een hogere GLG versterkt wordt. Daarbij zijn de schattingen in het voorliggende rapport gebaseerd op grondwaterstanden gemeten in het midden tussen de drains, waardoor de gemiddelde grondwaterstand in droge perioden overschat wordt ten opzichte van de veldgemiddelde grondwaterstand. Bij slechts een gering hoger wordende GLG neemt de geschatte maaiveldddaling en CO<sub>2</sub>-reductie sterk af. Alleen met scherp sturen op de laagste grondwaterstand wordt in potentie de reductie aanzienlijk vergroot.

Sinds het najaar van 2019 wordt in Nederland gemeten aan de emissie van broeikasgassen uit het Nederlandse veenweidegebied in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV), ten behoeve van de doelstellingen in het Klimaatakkoord. Daarbij worden tevens de effecten op bodemdaling in beeld gebracht. Er wordt gebruik gemaakt van onderzoek op locaties verspreid over Nederland, waaronder de graslandlocaties Aldeboarn (Friesland), Rouveen (Overijssel), Assendelft (Noord-Holland), Vlist (Zuid-Holland) en Zegveld (Utrecht), de locatie waar ook het onderzoek van dit rapport plaatsvindt. Op alle locaties worden broeikasgasfluxen gemeten, worden de biochemische en fysische eigenschappen van de bodem onderzocht en wordt gemeten aan bodemdaling. Doel is het vergroten van het mechanistisch begrip van veenafbraak en maatregelen daartegen om zo tot een betere inschatting te komen van huidige emissies en het effect van maatregelen. Andere doelstellingen van NOBV zijn om een meetprotocol voor het meten van broeikasgassen en bodemdaling in het veenweidegebied te ontwikkelen, om een landelijk dekkend, structureel meetnetwerk op te zetten en om met geactualiseerde rekenmodellen voorspellingen te doen over broeikasgasuitstoot en bodemdaling voor uiteindelijk het hele veenweidegebied. Het onderzoek is in 2021 uitgebreid, door toevoeging van nog een aantal onderzoekslocaties.

Onderdeel van het onderzoeksprogramma is het vaststellen van de hoogte van de emissie van CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub>, maar ook de variabiliteit in de betreffende fluxen. Resultaten van N<sub>2</sub>O-metingen (2005-2009) op Melkveeproefbedrijf Zegveld lieten volgens Pleijter et al. (2011) zien dat het verhogen van de grondwaterstand waarschijnlijk leidde tot lagere cumulatieve N<sub>2</sub>O-emissies, maar een stijging van de temporele en ruimtelijke variabiliteit. Voor kwantificering van de N<sub>2</sub>O-emissies zou daarom gebruik moeten worden gemaakt van modelschattingen. Echter om de modellen te kunnen valideren en kalibreren zijn meer datasets nodig. De metingen van het NOBV dragen hiertoe bij.

Anders dan bij eerdere metingen aan broeikasgasemissies van veenweiden, betreft dit continue metingen met meetkamers, omdat alleen zo voldoende zekerheid bestaat dat de meetnauwkeurigheid van de emissie door veenoxidatie voldoende is om verschillen tussen de behandeling en de *Referentie* te kunnen meten. Vooralsnog zijn niet voldoende meetresultaten beschikbaar om de effecten van onderwaterdrains op broeikasgasemissie te kwantificeren en te vergelijken met de gebruikte empirisch relaties voor CO<sub>2</sub> (Van den Akker et al., 2013) en N<sub>2</sub>O (Kuikman et al., 2005). Wel is de verwachting dat binnen afzienbare tijd nieuwe relaties beschikbaar zijn om emissies te kwantificeren en welke vergeleken kunnen worden met de relaties van Van den Akker et al. (2007) en Jurasinski (2016).

---

## 5 Conclusies en aanbevelingen

De conclusies van het onderzoek waren als volgt:

- Onderwaterdrains hadden zowel een significant drainerend als infiltrerend effect ten opzichte van een situatie zonder onderwaterdrains. Daarbij waren *Pompgestuurde onderwaterdrains* effectiever dan *Onderwaterdrains op de sloot*, voor zowel draineren als infiltreren.
- Het effect van *Onderwaterdrains op de sloot* op het verhogen van de grondwaterstand in de zomer was even groot als het effect op het verlagen van de grondwaterstand in de winter.
- Het effect van *Pompgestuurde onderwaterdrains* op het verhogen van de grondwaterstand in de zomer was beduidend groter dan op het verlagen van de grondwaterstand in de winter.
- Tegen de verwachting in had het hoge slootpeil geen significant verhogend effect op de grondwaterstand bij *Onderwaterdrains op de sloot*, door relatief grote verschillen in infiltratiesnelheid en zomergrondwaterstand van de *Referentie* tussen de proefpercelen.
- De gemiddelde grondwaterstand werd bij *Pompgestuurde onderwaterdrains* 2,5 cm en bij *Onderwaterdrains op de sloot* 2 cm verhoogd ten opzichte van de *Referentie*.
- De geschatte reductie van maaiveldddaling en CO<sub>2</sub>- en N<sub>2</sub>O-emissie was voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* 28-62 % en voor *Onderwaterdrains op de sloot* -1-38 %. De spreiding tussen de geschatte reducties was groot door verschillen tussen proefpercelen in infiltratiesnelheid en GLG van de *Referentie*.
- Met een nauwere drainafstand van 4 m in plaats van 6 m (veldproef) kan de reductie van maaiveldddaling en emissies vergroot worden.
- Bij *Pompgestuurde onderwaterdrains* dient het slootpeil niet lager te zijn dan het streefpeil voor de grondwaterstand om te voorkomen dat water wordt rondgepompt, doordat het geïnfilterde water via de onderwaterdrains en de bodem terugstroomt naar de sloot.
- De drainbehandelingen hadden over de proefperiode geen effect op de botanische samenstelling van de graszode. De mate van vernatting was niet dusdanig verschillend (verschil tussen GHG 's), dat dit een verschil in aandeel waterminnende grassen en kruiden opleverde.
- De oriënterende bemonstering op de waterkwaliteit liet vooral voor *Pompgestuurde onderwaterdrains* een toename zien van P en N-totaal en een afname van sulfaat. De lagere sulfaatconcentraties zijn een indicatie voor een verminderde veenafbraak.
- Met een webapplicatie is 'slim' sturen op CO<sub>2</sub> en draagkracht beperkt getest, maar dit leek perspectiefvol. Onnodig water aan- of afvoeren kan hiermee voorkomen worden.
- De ontwikkelde webapplicatie Reverse Drain is als prototype beschikbaar en geeft inzicht in het effect van waterinfiltratie op de bodemvochttoestand en grondwaterstand. De werkelijke grondwaterstanden konden redelijk gesimuleerd worden, maar er waren ook afwijkingen. Dit betrof veelal een niveauverschil tussen de werkelijke en de gesimuleerde grondwaterstanden en dat kon zowel positief als negatief zijn.
- Onderwaterdrains en pompgestuurde onderwaterdrains bleken gevoelig voor slibophoping in drainbuizen en waterreservoirs.
- Een hoog peil in het waterreservoir boven het maaiveld leidt snel tot natte plekken in het land. Een te laag peil in het waterreservoir, onder de bovenkant van de drains, leidt snel tot luchtinsluiting in het drainstelsel. Zowel slibophoping als luchtinsluiting kunnen de infiltratie en drainage ernstig belemmeren en moeten voorkomen worden.

Aanbevelingen voor de toepassing van pompgestuurde onderwaterdrains:

- Kies voor een voldoende nauwe drainafstand, bij voorkeur 4 m.
- Om bij infiltreren verlies van water naar belendende sloten te voorkomen dient het slootpeil ingesteld te worden op de gemiddelde gewenste grondwaterstand (streefpeil).
- Aangezien de aanleg van onderwaterdrains een hoge investering vraagt (zeker wanneer deze pompgestuurd zijn) en deze gevoelig zijn voor vervuiling, pleit dit voor het doelgericht inzetten van de drains, met een zorgvuldige aansturing en controle van het systeem.

- 
- Daarbij moet worden voorkomen dat het baggerniveau in de sloot te hoog wordt of dat bagger in het waterreservoir en infiltratiesysteem wordt gepompt. Om te voorkomen dat lucht in het infiltratiesysteem komt, mag het waterpeil in de sloot of het reservoir nooit onder de bovenkant van het infiltratiesysteem komen.
  - Controle en goed onderhoud moet mogelijk zijn, zodat het systeem goed kan worden doorgespoeld en eventuele luchtinsluitingen en kunnen worden verwijderd. Voor een correcte aanleg van drains ten behoeve van een infiltratiesysteem wordt verwezen naar de KIWA certificering die hiertoe is opgesteld (KIWA, 2021).
  - Om te beoordelen hoe groot het nadelige effect is van pompgestuurde onderwaterdrains op de uitspoelingsconcentraties voor stikstof en fosfor zou met een modelberekening een totaalbalans opgesteld moeten worden.
  - Het gebruik van automatische drukopnemers voor het meten van de grondwaterstand biedt de mogelijkheid om de pompaansturing volledig te automatiseren. Het advies is om meerdere automatische drukopnemers per perceel of kavel in te zetten, zodat bij storing waarnemingen beschikbaar blijven en de aansturing niet stagneert.
  - Om het overzicht te behouden vergt het inzetten van automatische drukopnemers op bedrijfsschaal een goede organisatie van data. Dit betreft identificatie van de sensoren gekoppeld aan een locatie in het veld en inzicht in de waarnemingen van de sensor.
  - Om de data-uitwisseling en aansturing van pompen goed te laten verlopen zouden leveranciers van pompsystemen de voorspelling van de bodemvochttoestand en de grondwaterstand binnen hun eigen applicatie moeten aanbieden. Een API van de ontwikkelde webapplicatie is hiervoor beschikbaar.



---

## 6 Perspectief

Precisiewatermanagement met pompgestuurde onderwaterdrains vraagt een relatief hoge investering en past, vanuit het perspectief van een melkveebedrijf, het beste bij grasland met een goede opbrengstpotentie en intensief gebruik, zodat de extra kosten gecompenseerd kunnen worden met een verhoging van de productiviteit. Een hogere grasproductie zou het gevolg kunnen zijn van minder groeireductie door vernatting of extra weidedagen voor melk- en jongvee door een verbeterde draagkracht van de graszode in het voor- en najaar. Wordt de productiviteit niet verhoogd of zelfs verlaagd door extra vernatting bij een zeer hoog streefpeil voor de grondwaterstand, dan zullen op een andere manier de hoge kosten gecompenseerd moeten worden, bijvoorbeeld door subsidie, carbon credits voor het reduceren van CO<sub>2</sub>-emissie, of het vergroten van natuurwaarden door te zorgen voor extra vernatting.

In het kader van het Innovatie Programma Veen zijn de kosten en baten van pompgestuurde onderwaterdrains bij streefpeilen voor de grondwaterstand van 30, 40 en 50 cm in beeld gebracht (Hoving et al., 2020), op basis van bedrijfsberekeningen die uitgevoerd zijn met het model Waterpas (De Vos et al., 2006). Daarbij is de drooglegging gelijk gehouden aan het streefpeil en de berekende situaties zijn vergeleken met een referentiesituatie die een drooglegging had van 50 cm. Door de bandbreedte die in Waterpas gehanteerd werd voor het in en uitpompen van water kwam het grondwaterstand in de zomer 10-20 cm lager dan de streefpeilen.

Ondanks dat bij een streefpeil van 50 cm de grasopbrengst gemiddeld 1 ton droge stof per ha per jaar hoger was dan van de *Referentie*, overtroffen de kosten de baten vanwege de relatief hoge investeringskosten van 550 euro per ha per jaar (zie onderstaande). Ten opzichte van de *Referentie* verhoogde de totale kosten met 3 euro per 100 kg melk en 491 euro per ha. Voor een streefpeil van 30 cm beneden maaiveld verlaagde daarentegen de grasopbrengst gemiddeld met ruim 1 ton droge stof per ha per jaar en trad indirecte schade op door inefficiënter graslandgebruik. De totale kosten verhoogden ten opzichte van de *Referentie* gemiddeld met 3,8 euro per 100 kg melk en 620 euro per ha, vooral door de aankoop van extra ruwvoer.

Voor pompgestuurde onderwaterdrains is uitgegaan van de kosten zoals die gemaakt zijn in het IPV-project. Wanneer pompgestuurde onderwaterdrains op grotere schaal worden aangelegd zouden de kosten nog enigszins omlaag kunnen gaan. Dit zal vooral de kosten voor de collectordrains, waterreservoirs en besturingsapparatuur betreffen. In de berekeningen is een besparing van deze kosten gerekend ter grootte van 25% van de werkelijk gemaakte kosten. De jaarkosten voor rente, afschrijving en onderhoud en bedroegen uiteindelijk 550 euro per ha per jaar. Dit zijn relatief hoge kosten.

Zoende is tevens een alternatieve kostensituatie uitgewerkt, waarbij de kosten lager zijn door de bediening van de pompen handmatig uit te voeren in plaats automatisch en door gebruik te maken van wind- of zonne-energie in plaats van netspanning. De totale jaarkosten voor rente, afschrijving en onderhoud bedroeg voor de alternatieve kostensituatie 381 euro per ha per jaar. Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze besparingen ten kosten kunnen gaan van het realiseren van voldoende infiltratie en pompcapaciteit.

Zouden ook geen pompen worden gebruikt, zoals dat bij conventionele onderwaterdrains het geval is, dan bedragen de totale kosten 323 euro per ha per jaar. Zonder het gebruik van pompen is het echter niet mogelijk om een hoog streefpeil voor de grondwaterstand te realiseren, tenzij gebruik gemaakt kan worden van voldoende vrij verval tussen oppervlaktewaterpeil en het gewenste streefpeil voor het grondwater.

Pompgestuurde onderwaterdrains is een effectieve, maar ook een relatief dure oplossing om maaiveldddaling en CO<sub>2</sub>-emissie te verminderen, het vraagt arbeid voor de aansturing en verstoringen (vervuiling, luchtinsluiting) kunnen de werking benadelen. Dit pleit ervoor om de drains doelgericht in te zetten, met een zorgvuldige aansturing en controle van het systeem. In natte jaren is een investering in pompgestuurde onderwaterdrains een soort risicopremie voor behoud van ruwvoerproductie en weidengang, in zoverre het lukt om in natte perioden, bij het nastreven van een relatief hoge grondwaterstand, extra water af te voeren.

---

## 7 Bronnen

- Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007. Maaiveldaling, afbraak en CO<sub>2</sub> emissie van Nederlandse veenweidegebieden. Leidraad Bodembescherming, Sdu, Den Haag, 32 blz.
- Akker, J.J.H. van den, P.J. Kuikman, F. de Vries, I. Hoving, M. Pleijter, R.F.A. Hendriks, R.J.
- Wolleswinkel, R.T.L. Simões and C. Kwakernaak, 2008. Emission of CO<sub>2</sub> from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission. In: Farrell, C and J. Feehan (eds.), 2008. Proceedings of the 13th International Peat Congress After Wise Use – The Future of Peatlands, Vol. 1 Oral Presentations, Tullamore, Ireland, 8-13 June 2008. International Peat Society, Jyväskylä, Finland. ISBN 0951489046. pp 645-648.
- Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, I.E. Hoving en M. Pleijter, 2010. Toepassing van onderwaterdrains in veenweidegebieden. Effecten op maaiveldaling, broeikasgasemissies en het water. Werkgemeenschap voor Landschapsonderzoek (WLO), Utrecht, Landschap 27/3, 137-149
- Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks and M. Pleijter, 2012. CO<sub>2</sub> emissions of peat soils in agricultural use: calculation and prevention. Proc. of the 19th Conference of the Int. Soil Tillage Res. Org. [www.ISTRO.org](http://www.ISTRO.org)
- Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, 2017. Diminishing peat oxidation of agricultural peat soils by infiltration via submerged drains. FAO 2017. Proceedings of the Global Symposium on Soil Organic Carbon 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. pp. 436-439. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/d6555d8d-1b19-4c04-a25d-74474e6c0a11/>
- Berghuis-van Dijk J T 1985 WATBAL: A simple water balance model for an unsaturated-saturated soil profile. Institute for Land and Water Management Research, Wageningen, Note Nr. 1670.
- Cate, J.A.M., A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften. Deel B: Grondwater. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document 19B.
- Craats, D. van den, 2019. Draininspectie Proefveld KTC Zegveld, Wageningen, Wageningen Environmental Research. Notitie.
- Genstat Nineteenth Edition. VSN International Ltd, 2018
- Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. Pilot onderwaterdrains Utrecht. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2479.
- Höper., H., 2007. Freizetsung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren (Emissie of greenhouse gases from German peatlands), *Telma* 37, pp 85-116.
- Hoving, I.E., G. André, J.J.H. van den Akker en M. Pleijter, 2008. Hydrologische en landbouwkundige effecten gebruik 'onderwaterdrains' op veengrond. Lelystad, Animal Sciences Group van WUR. Rapport 102.
- Hoving, I.E., P. Vereijken, K. van Houwelingen en M. Pleijter, 2013. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains bij dynamisch slootpeilbeheer op veengrond. Lelystad, Wageningen-UR Livestock Research. Rapport 719.

- 
- Hoving, I.E., H. Massop, K. van Houwelingen, J.J.H. van den Akker en J. Kollen, 2015. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang; Vervolgonderzoek gericht op de toepassing van een zomer- en winterpeil. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research. Livestock Research Rapport 875.
- Hoving I.E., A., J.J.H. van den Akker, H.T.L. Massop, G.J. Holshof, K. van Houwelingen, 2018. Precisiewatermanagement met pompgestuurde onderwaterdrains op veenweidegrond. Wageningen Livestock Research, Report 1123
- Hoving, I.E., G. Holshof, R.F.A. Hendriks, 2020. Effecten waterbeheersmaatregelen op veenweidebedrijven in Noord Holland. Technische en economische consequenties en effecten op bodemdaling en broeikasgasemissie. Wageningen Livestock Research, Rapport 1274.
- Jurasinski, G., Günther, A., Huth, V., Couwenberg, J., and Glatzel, S., 2016. Paragraph 5.1 Greenhouse gas emissions, 79–93, Chapter 5 Ecosystem services provided by paludiculture of Book: W. Wichtmann, C. Schröder & H. Joosten, 2016, Paludiculture – productive use of wet peatlands, Climate protection – biodiversity – regional economic benefits. Schweizerbart Science Publishers. Stuttgart), 2016.
- KIWA, 2021. Beoordelingsrichtlijn. Voor het KOMO procescertificaat voor Buisdrainage en. Veenweideinfiltratie. 2020-23v2. Concept BRL1411. 2020-12-17. KIWA Nederland B.V.
- Kluge, B., Wessolek, G., Facklam, M. Lorenz, M., Schwärzel, K., 2008. Long-term carbon loss and CO<sub>2</sub>-C release of drained peatland soils in northeast Germany. *European Journal of Soil Science* 59, 1076-1086
- Kroeze, C., 1994. Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O). Emission inventory and options for control in the Netherlands. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven. Report nr. 773001 004.
- Kuikman, P.J., van den Akker, J.J.H. & de Vries, F., 2005. Emissie van N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> uit organische landbouwbodems. Wageningen, Alterra. Alterra Report 1035-2, 66 pp.
- Makkink, g.f., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. *jour. inst. of Water eng.*, 11: 277-288.
- Moore, T.R. and M. Dalva, 1993. The influence of temperature and water table position on carbon dioxide and methane emissions from laboratory columns of peatland soils. *Journal of Soil Science* 44, pp 651-664.
- Motelica-Wagenaar, A. M. and J. Beemster, 2020. Greenhouse gas emissions and surface water management, *Proc. IAHS*, 382, 643–649, <https://doi.org/10.5194/piahs-382-643-2020>.
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Pleijter, M., C.L. van Beek en P.J. Kuiman, 2011. Emissie van lachgas uit grasland op veengrond; Monitoring lachgasfluxen op melkveeproefbedrijf Zegveld in de periode 2005 - 2009. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2116, 82 blz.; 40 fig.; 25 tab.; 34 ref.
- Renger, M. Wessolek, G., Schwärzel, K., Sauerbrey, R. Siewer, C., 2002. Aspects of peat conservation and water management. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165, 487-493.
- Schothorst, C. J., 1977: Subsidence of low moor peat soils in the Western Netherlands, *Geoderma*, 17, 265–291.

- 
- Schrier-Uijl, A.P., P.S. Kroon, P.A. Leffelaar, J. C. van Huissteden, F. Berendse, E. M. Veenendaal, 2010. Methane emissions in two drained peat agro-ecosystems with high and low agricultural intensity. *Plant Soil* (2010) 329:509–520
- Stouthamer, E., H.J.A. Berendsen, J. Peeters en M.T.I.J. Bouman, 2008. Toelichting Bodemkaart Veengebieden provincie Utrecht, schaal 1:25.000, Utrecht, Departement Fysische Geografie, Faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht.
- Van den Pol-van Dasselaar, A., 1998. Methane emissions from grasslands. Ph.D. thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, 179 pages.
- Vermeulen, J. en R.F.A. Hendriks, 1996. Bepaling van afbraaksnelheden van organische stof in laagveen. Ademhalingsmetingen aan ongestoorde veenmonsters in het laboratorium. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 288. 124 blz.
- Wessolek, G., K. Schwärzel, M. Renger, R. Sauerbrey, C. Siewer, 2002. Soil hydrology and CO<sub>2</sub> release of peat.
- Wösten, H., F. de Vries, T. Hoogland, H. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman, 2013. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2387.

# Bijlage 1 Bodeminventarisatie

## Gevoeligheidsanalyse

Om het effect van eventuele fouten in de waarnemingen op de k-waarde te onderzoeken is een beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij zijn de volgende effecten onderzocht:

- Boorgat 1 cm wijder ( $r+0,5$  cm),
- Boorgat 1 cm krupper ( $r-0,5$  cm),
- Boorgat is 5 cm dieper ( $Bg+5$  cm),
- Boorgat is 5 cm ondieper ( $Bg-5$  cm),
- Grondwaterstand is 5 cm dieper ( $H_i+5$  cm),
- Grondwaterstand is 5 cm ondieper ( $H_i-5$  cm).

De mediane k-waarden van de gevoeligheidsanalyse per proefperceel (voor en achter) staan in Tabel 1.

**Tabel 1** Mediane k-waarden (m per dag) gevoeligheidsanalyse boorgatmetingen per locatie.

	k <sub>gem</sub>	k <sub>gem</sub>	k <sub>gem</sub>	k <sub>gem</sub>	k <sub>gem</sub>	k <sub>gem</sub>	k <sub>gem</sub>	Max	Min
locatie	basis	r+0,5 cm	r-0,5 cm	Bg+5cm	Bg-5cm	Hi+5cm	Hi-5cm		
PR13_a	0.14	0.17	0.12	0.13	0.16	0.17	0.12	0.17	0.12
PR13_v	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04
PR14_a	0.17	0.20	0.14	0.15	0.19	0.21	0.14	0.21	0.14
PR14_v	0.07	0.08	0.06	0.06	0.08	0.08	0.06	0.08	0.06
PR15_a	0.11	0.13	0.10	0.10	0.13	0.13	0.10	0.13	0.10
PR15_v	0.18	0.21	0.15	0.16	0.20	0.22	0.15	0.22	0.15
PR16_a	0.46	0.54	0.38	0.42	0.50	0.55	0.39	0.55	0.38
PR16_v	0.46	0.54	0.39	0.42	0.52	0.57	0.39	0.57	0.39
Gemiddeld	0.20	0.24	0.17	0.19	0.23	0.25	0.17	0.25	0.17
Mediaan	0.16	0.18	0.13	0.14	0.17	0.19	0.13	0.19	0.13

De gevoeligheidsanalyse laat zien dat de grootte van de k-waarde enigszins wordt beïnvloed door fouten in de boorgatdiameter, diepte boorgat of uitgangsgrondwaterstand maar dat de grootteorde hetzelfde blijft. Voor het drainageadvies zijn berekeningen gedaan voor k-waarden van 0,04 m per dag (minimum), 0,16 m per dag (mediaan) en 0,46 m per dag (maximum).

## Drainageadvies

Uitgangspunten voor het drainageadvies:

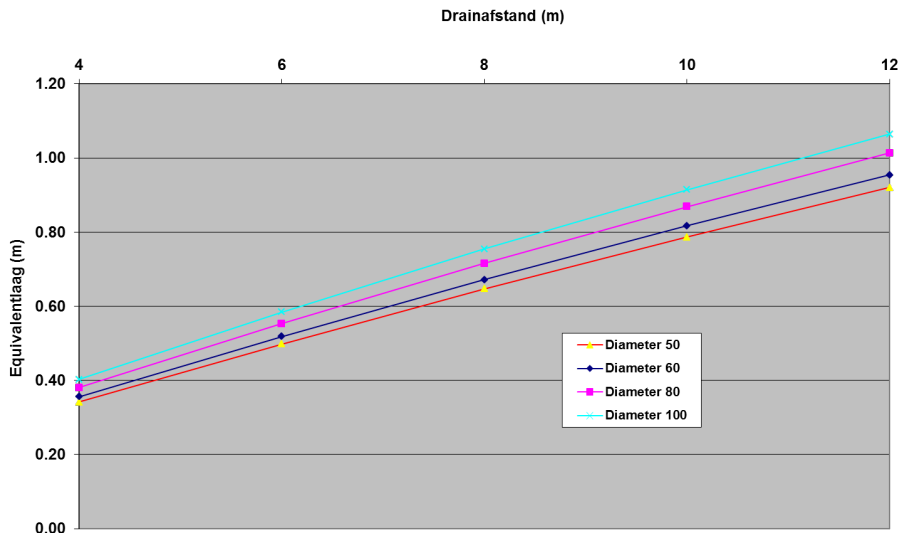
1. Profielopbouw. Voor het opstellen van het drainageadvies is uitgegaan van een gemiddeld profiel voor alle percelen:
  - 600 cm veen
  - zandondergrond
2. Uitholling grondwaterstand (m) max 10 cm.
3. Infiltratie om de verdamping te compenseren ter grootte van 3 m per dag gemiddeld over een decade uitgaande van een maximale verdamping van 5 m per dag.
4. Drains worden in de veenlaag gelegd met een dikte (**D**) = 6,0 m.
5. Doorlatendheid. In de formule van Hooghoudt wordt onderscheid gemaakt tussen de doorlatendheid boven (**k<sub>1</sub>**) en onder drainniveau (**k<sub>2</sub>**). Voor de berekening is uitgegaan dat deze gelijk zijn. Wel is gekeken wat het effect is van het verschil in mediane waarden tussen de 4 proefpercelen.

Voor het bepalen van de drainafstand (**L**) is gebruik gemaakt van de formule van Hooghoudt toegepast op een infiltratiesituatie, d.w.z. omgekeerde drainage. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de formule van Hooghoudt bij voorkeur wordt toegepast als de doorlatendheid van de bovenste laag groter is of gelijk is aan die van de onderste laag, hetgeen aangenomen is.

$$\text{Equivalentlaag(d): } d = \frac{D}{1 + \frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{\pi}}$$

$$\text{Drainafstand (L)} \quad L^2 = \frac{8k_2 dm + 4k_1 m^2}{q}$$

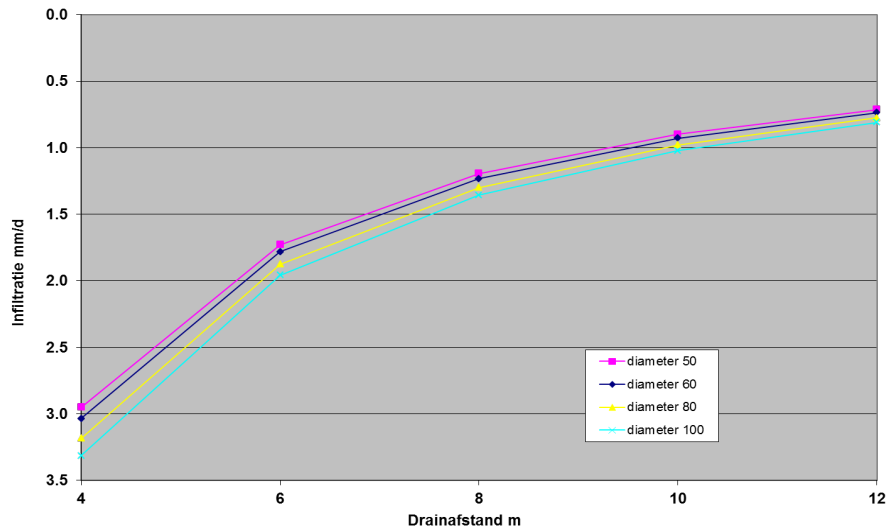
De dikte van de equivalente laag (**d**), waarmee de radiale weerstand in rekening wordt gebracht, in relatie tot de drainafstand en de draindiameter is weergegeven in Figuur 1. De dikte van de equivalente laag varieert tussen de 0,4 en 1,0 m voor diameters (**2r**) van 50, 60, 80 en 100 mm en voor drainafstanden (**L**) variërend van 4-12 m.



**Figuur 1** Dikte equivalente laag (m) in relatie tot de drainafstand en draindiameter.

Geringe *k*-waarde van 0,04 m per dag

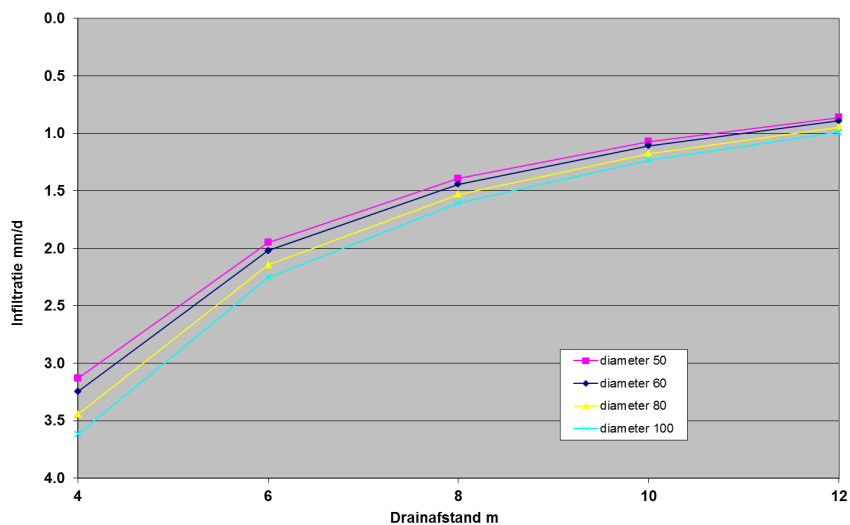
Bij een uitholling van 0,1 m is de infiltratie kleiner dan 1 m per dag, bij een grotere uitholling van 0,2 m zal de infiltratie toenemen naar 1,8-2,0 m per dag. Bij een uitholling van 0,3 m en een drainafstand van 4 m kan er 3-3.3 m per dag kunnen infiltreren. De infiltratie in m per dag in relatie tot de drainafstand en draindiameter bij *k*=0,04 m per dag en een uitholling van 0,3 m is weergegeven in Figuur 2.



**Figuur 2** Infiltratie in m per dag in relatie tot de drainafstand en draindiameter bij  $k=0,04$  m per dag bij een uitholling van 0,3 m.

Mediane  $k$ -waarde van 0,16 m per dag

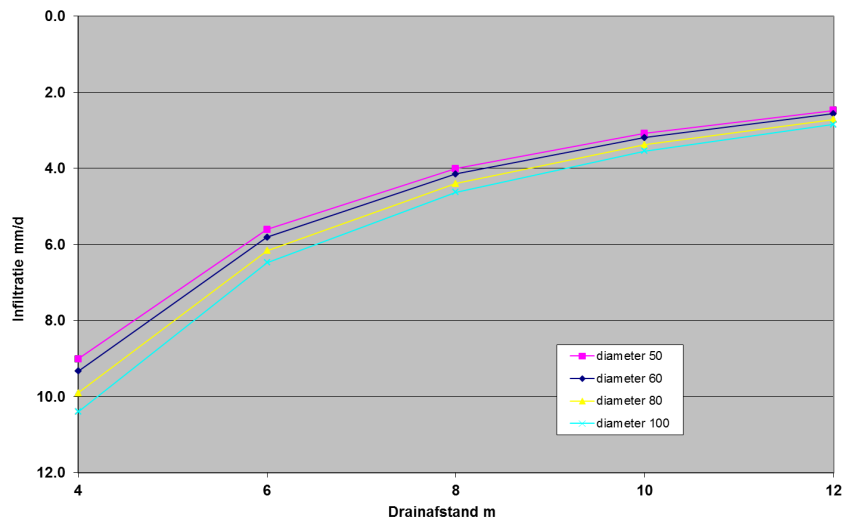
Bij een uitholling van 0,1 m is de infiltratie 3.1 tot 3.6 m per dag bij een drainafstand van 4 m, bij een drainafstand van 6 m bedraagt de infiltratie 2- 2.3 m per dag. Bij een iets grotere uitholling van 0,15 m bedraagt de infiltratie bij een drainafstand van 6 m 3.0-3.5 m per dag. De infiltratie in m per dag in relatie tot de drainafstand en draindiameter bij  $k=0,16$  m per dag staat in Figuur 3.



**Figuur 3** Infiltratie in m per dag in relatie tot de drainafstand en draindiameter bij  $k=0,16$  m per dag.

Maximale  $k$ -waarde van 0,46 m per dag

Bij een uitholling van 0,1 m is de infiltratie ruim groter dan 3 m per dag bij een drainafstand van 6 m. De infiltratie in mm/d in relatie tot de drainafstand en draindiameter bij  $k=0,46$  m per dag staat in Figuur 4.



**Figuur 4** Infiltratie in m per dag in relatie tot de drainafstand en draindiameter bij  $k=0,46$  m per dag.

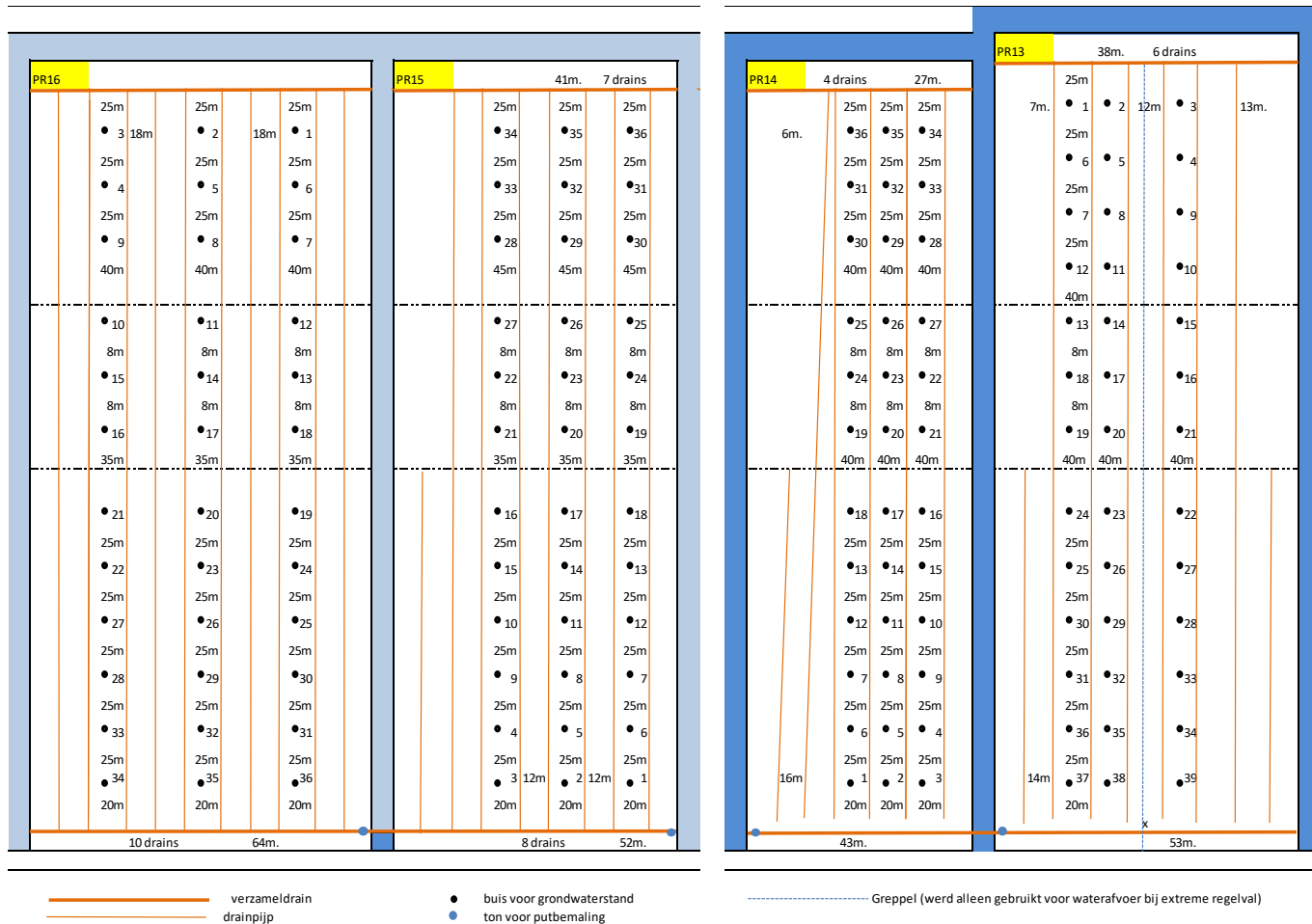
De drainage is aangelegd met een drainafstand van 6 m. De drains liggen op de percelen met het hoge peil (perceel 13 -14) op 65-70 cm beneden maaiveld en op de percelen met het lage peil (perceel 15 - 16) op 70-75 cm beneden maaiveld. Uitgaande van de mediane k-waarde is de drainafstand van 6 m net niet voldoende om bij een uitholling van 10 cm een infiltratie van 3 m per dag te realiseren. Als de eis met betrekking tot de uitholling op 0,15 m gesteld wordt, dan is 6 m wel voldoende. Door variatie in k-waarden verschilt mogelijk de infiltratie per locatie.

Samengevat zijn de resultaten als volgt:

- De gevonden k-waarden variëren enigszins tussen de verschillende locaties, van 0,04 m per dag tot 0,46 m per dag met een mediane waarde van 0,16 m per dag.
- De drainage is reeds aangelegd, het betreft peilgestuurde drainage. De toegepaste draandiepte op de twee percelen met het hoge peil (perceel 13-14) is 50-60 cm-mv en op de percelen met het lage peil (perceel 15-16) ca. 70 cm-mv, de drainafstand op alle percelen is 6 m.
- Uitgaande van de mediane k-waarde van 0,16 m per dag is de drainafstand van 6 m net niet voldoende om bij een uitholling van 10 cm een infiltratie van 3 m per dag te realiseren. Als de eis m.b.t. tot de uitholling op 0,15 m gesteld wordt, dan is 6 m voldoende.
- Door variatie in k-waarde zal de infiltratie kunnen verschillen per locatie.

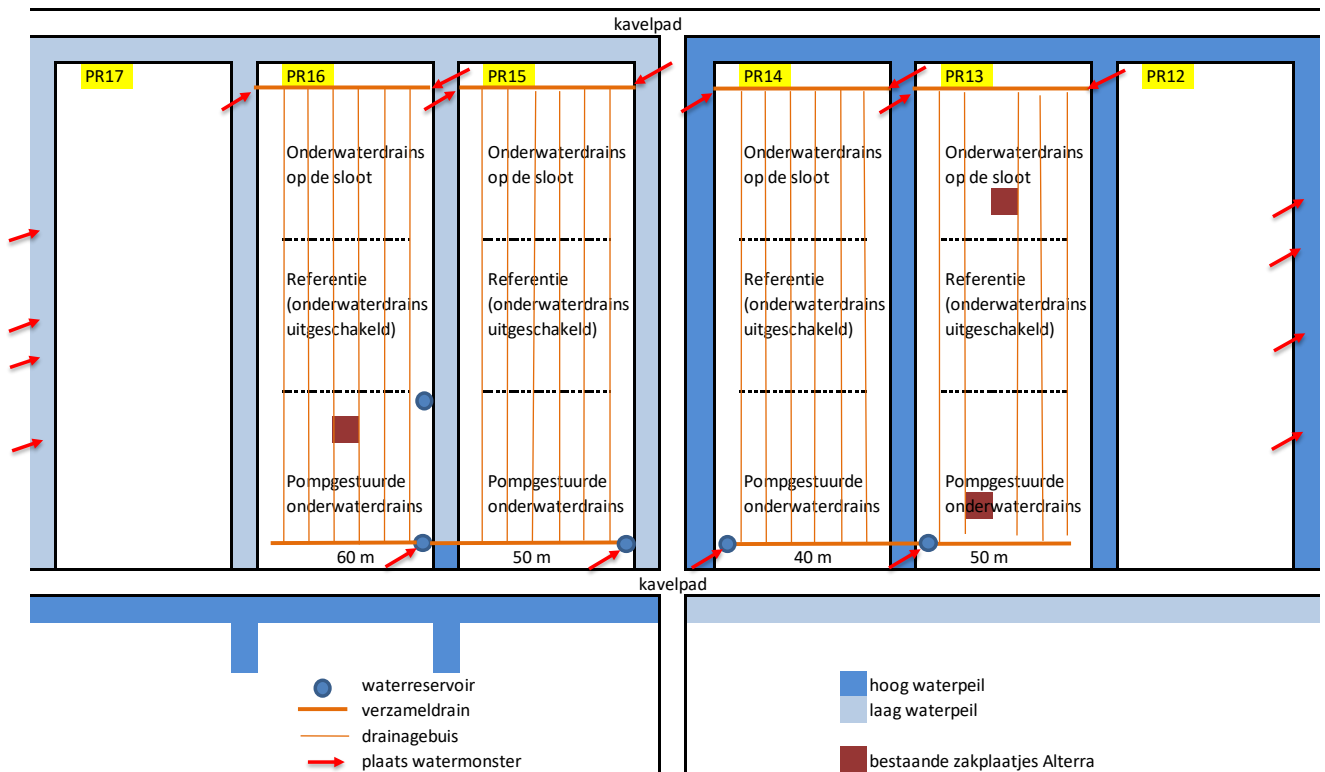


# Bijlage 2 Schema peilbuizen



**Figuur 5** Schematisch overzicht van de peilbuizen voor het meten van de grondwaterstand per proefperceel (PR13-PR16) met de tussenafstand tussen de peilbuizen (lengterichting) en de meetraaien (perceelbreedte).

## Bijlage 3 Locaties watermonsters



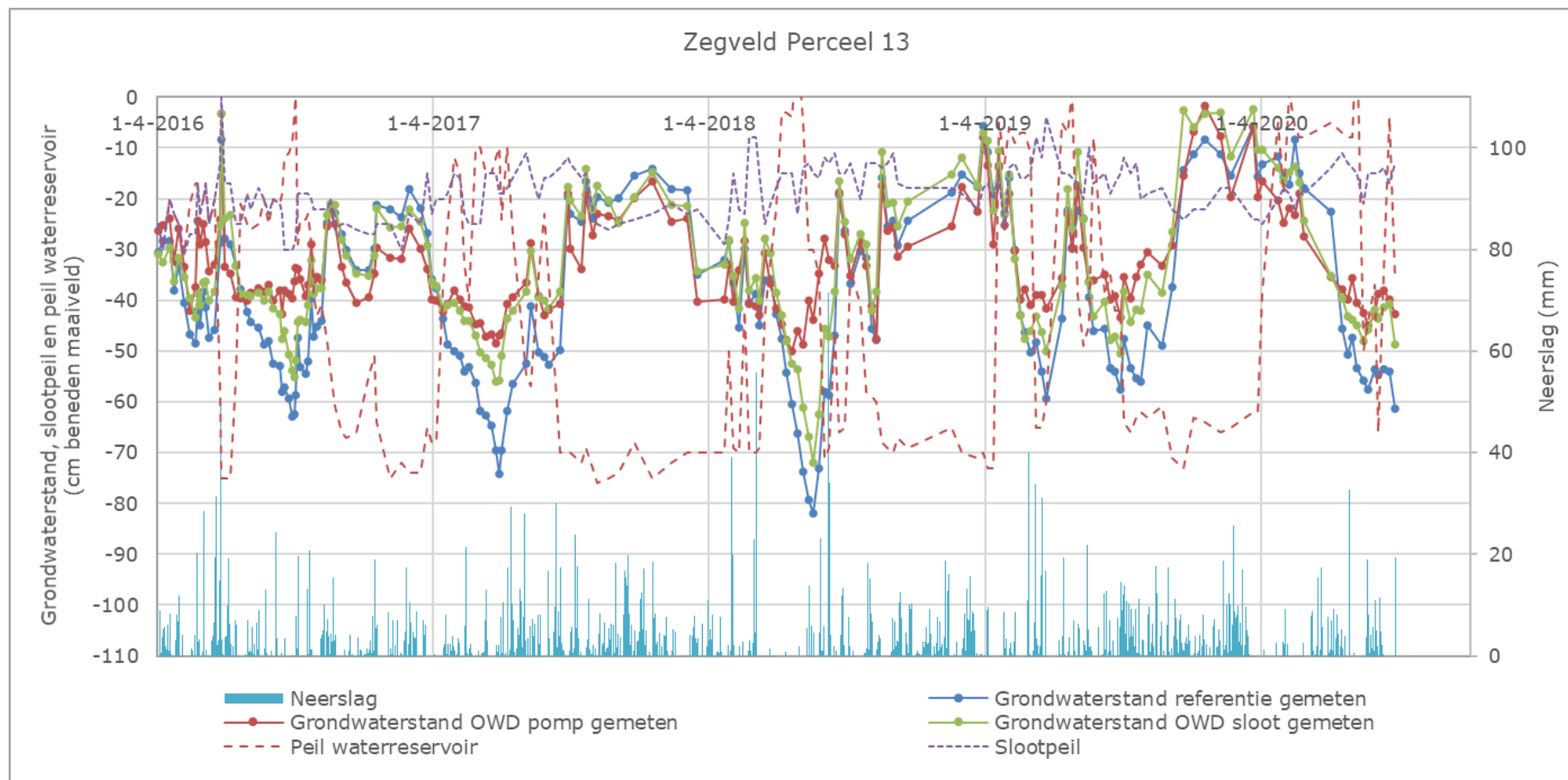
**Figuur 6** Locaties van monsternamen op of nabij de proefpercelen 13-16 op KTC Zegveld, aangegeven met rode pijlen.

## Bijlage 4 Maaiveldhoogte

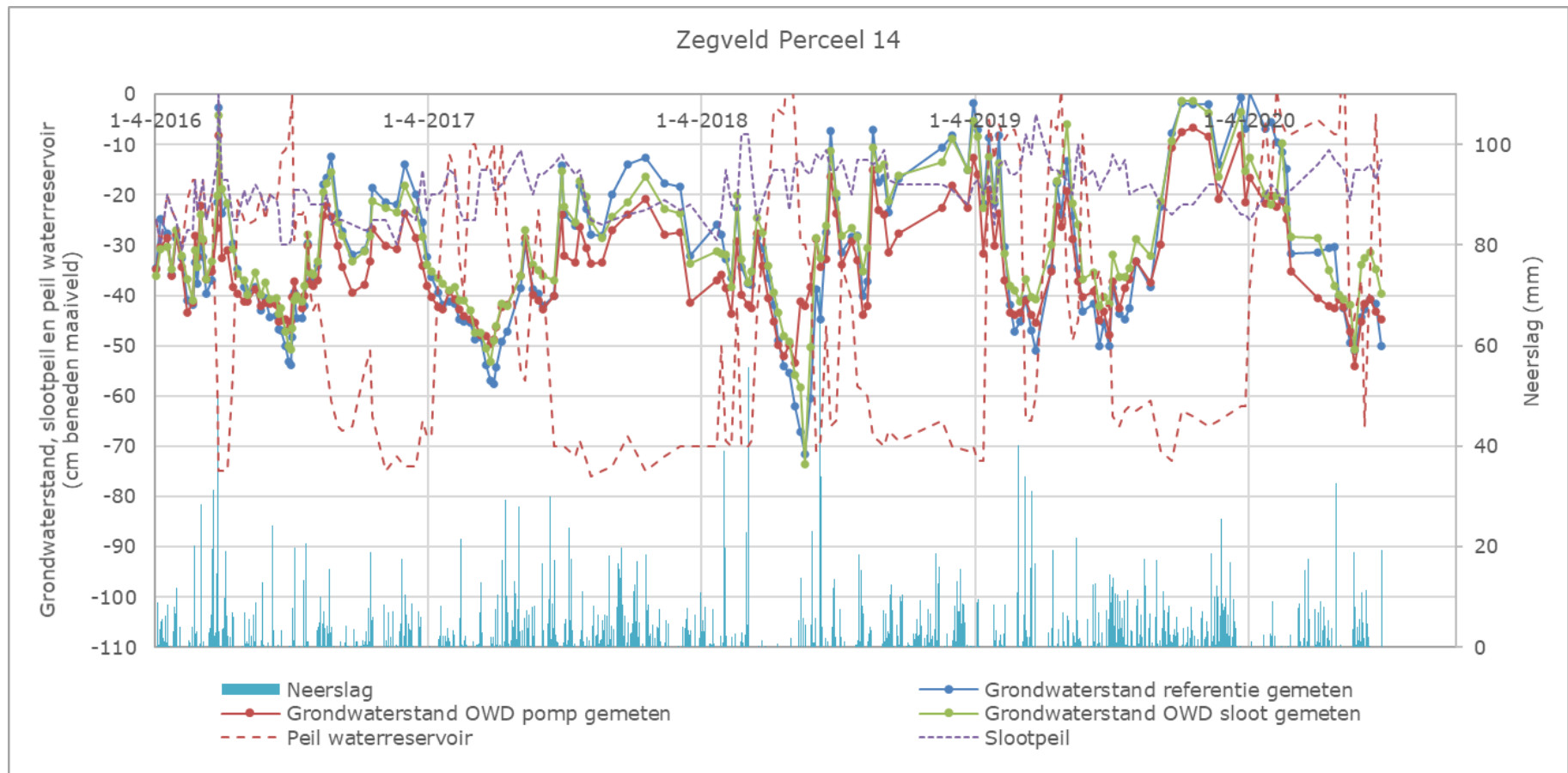
**Table 2** Maaiveldhoogte per behandeling per proefperceel ten opzichte van NAP (cm).

PERCEEL	Jaren	Meeting	Referentie	OWD-pomp	OWD-sloot
13	2017	Najaar	-255	-253	-251
	2019	Voorjaar	-234	-237	-229
	2020	Voorjaar	-242	-229	-237
14	2017	Najaar	-250	-254	-257
	2019	Voorjaar	-234	-239	-235
	2020	Voorjaar	-241	-247	-243
15	2017	Najaar	-249	-250	-249
	2019	Voorjaar	-255	-253	-254
	2020	Voorjaar	-264	-263	-264
16	2017	Najaar	-236	-240	-243
	2019	Voorjaar	-244	-243	-246
	2020	Voorjaar	-253	-254	-255

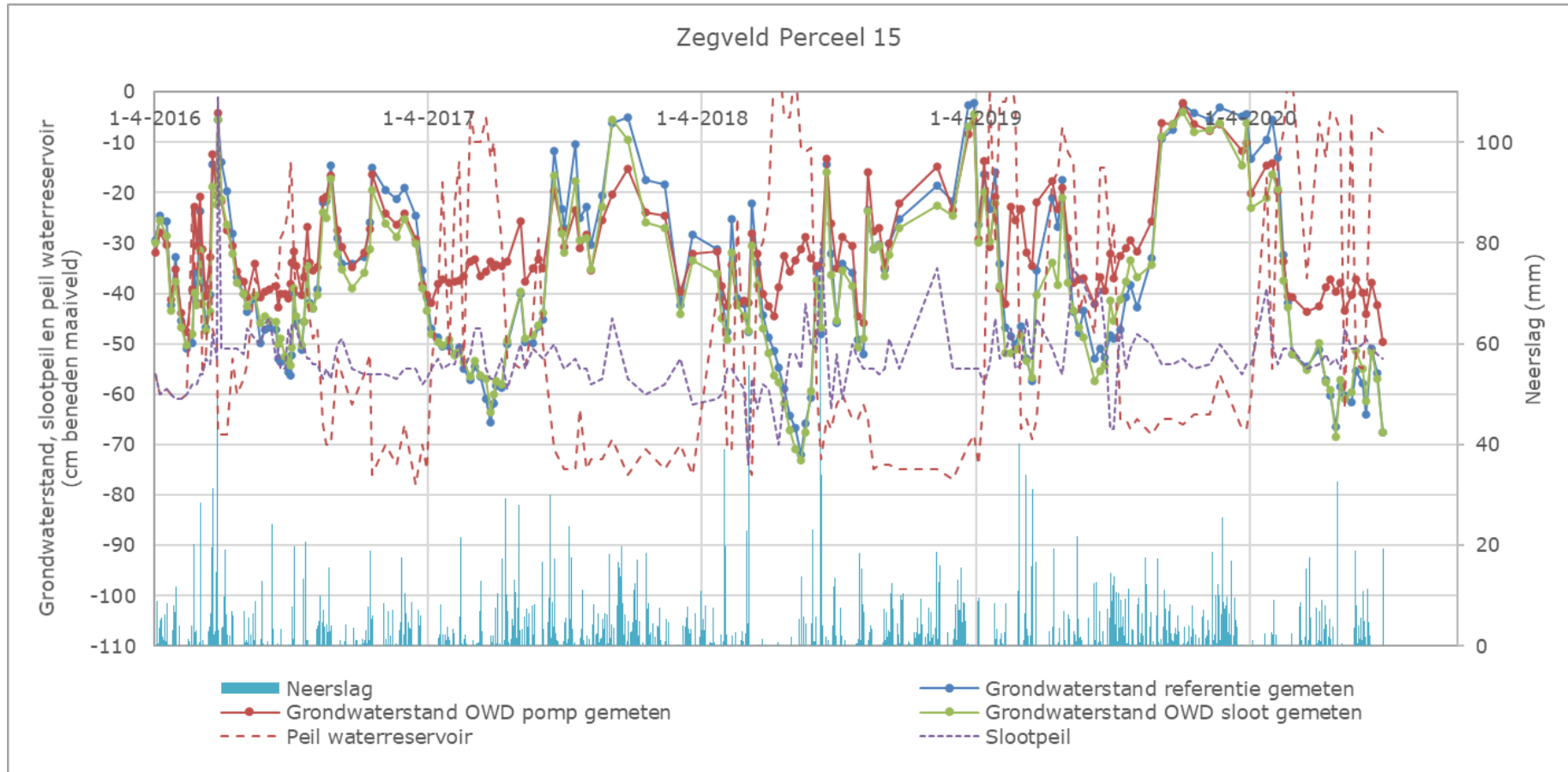
## Bijlage 5 Grondwaterstanden



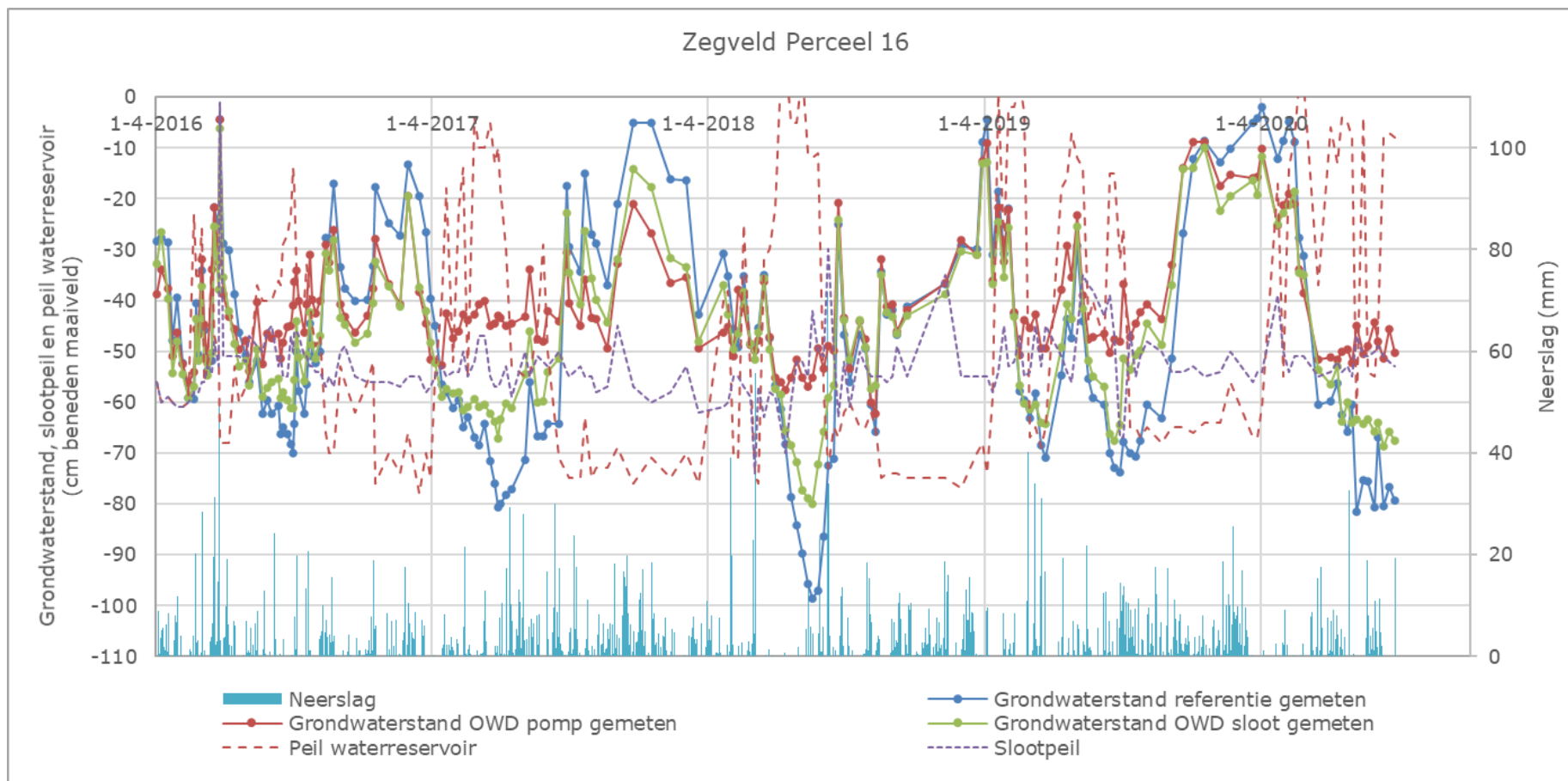
**Figuur 7** Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (Referentie, Onderwaterdrains op de sloot en Pompgestuurde onderwaterdrains), slootpeil en reservoirpeil voor perceel 13 bij een vast hoog slootpeil met een drooglegging van 20 cm.



**Figuur 8** Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (Referentie, Onderwaterdrains op de sloot en Pompgestuurde onderwaterdrains), slootpeil en reservoirpeil voor perceel 14 bij een vast hoog slootpeil met een drooglegging van 20 cm.

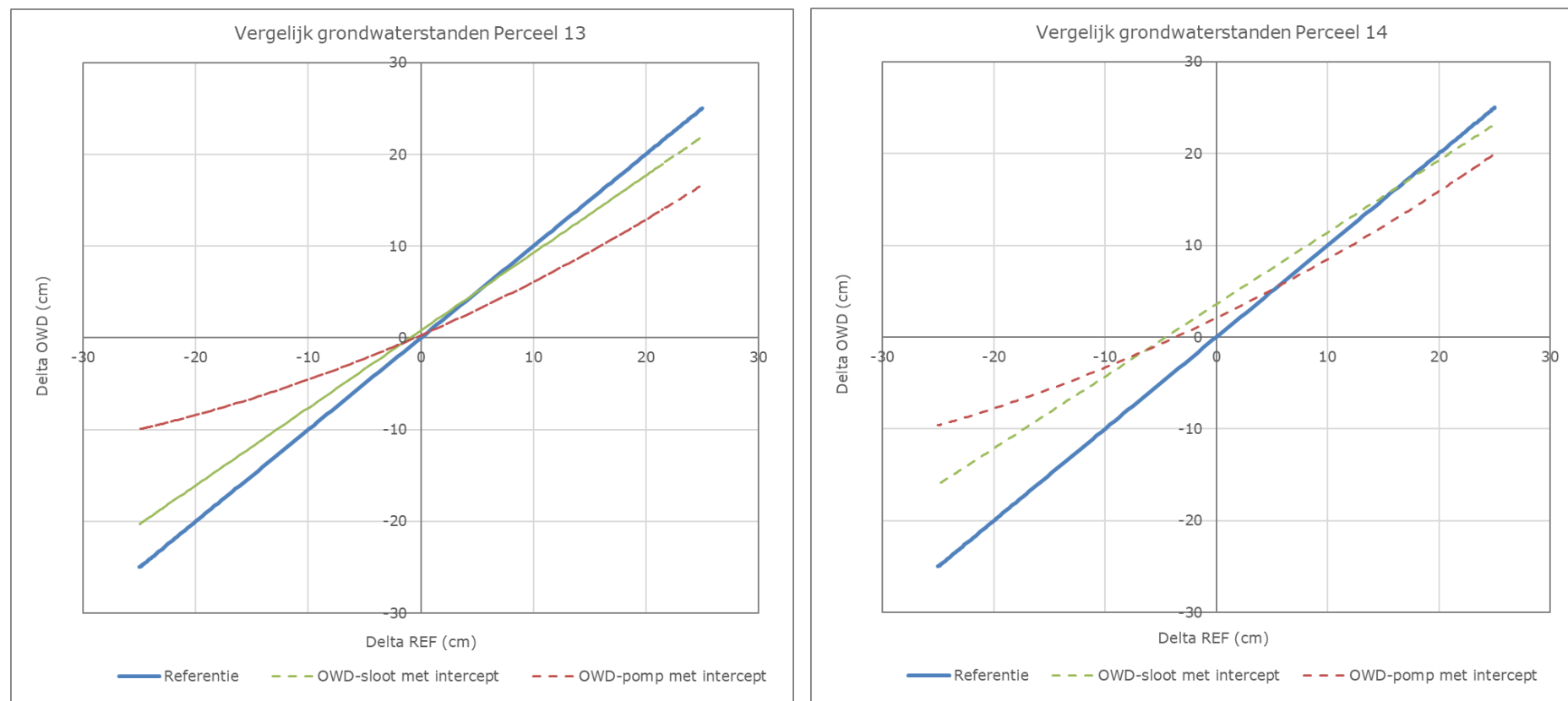


**Figuur 9** Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (Referentie, Onderwaterdrains op de sloot en Pompgestuurde onderwaterdrains), slootpeil en reservoirpeil voor perceel 15 bij een vast laag slootpeil met een drooglegging van 55 cm.



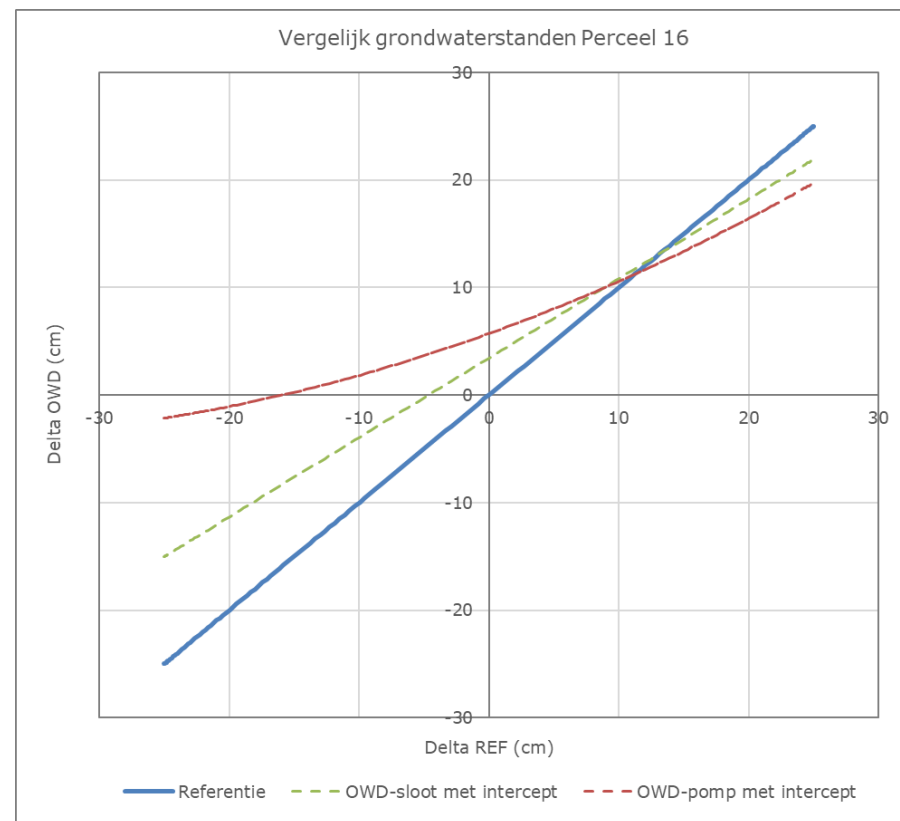
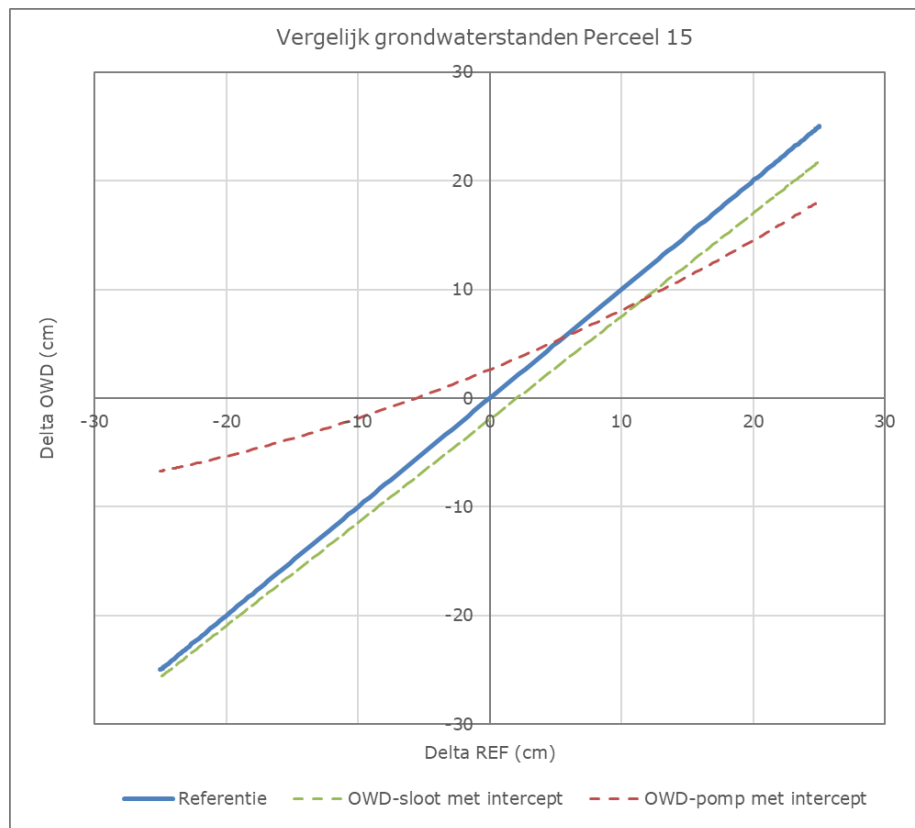
**Figuur 10** Het verloop van de grondwaterstand per drainbehandeling (Referentie, Onderwaterdrains op de sloot en Pompgestuurde onderwaterdrains), slootpeil en reservoirpeil voor perceel 16 bij een vast laag slootpeil met een drooglegging van 55 cm.

## Bijlage 6 Modelresultaten analyse grondwaterstanden



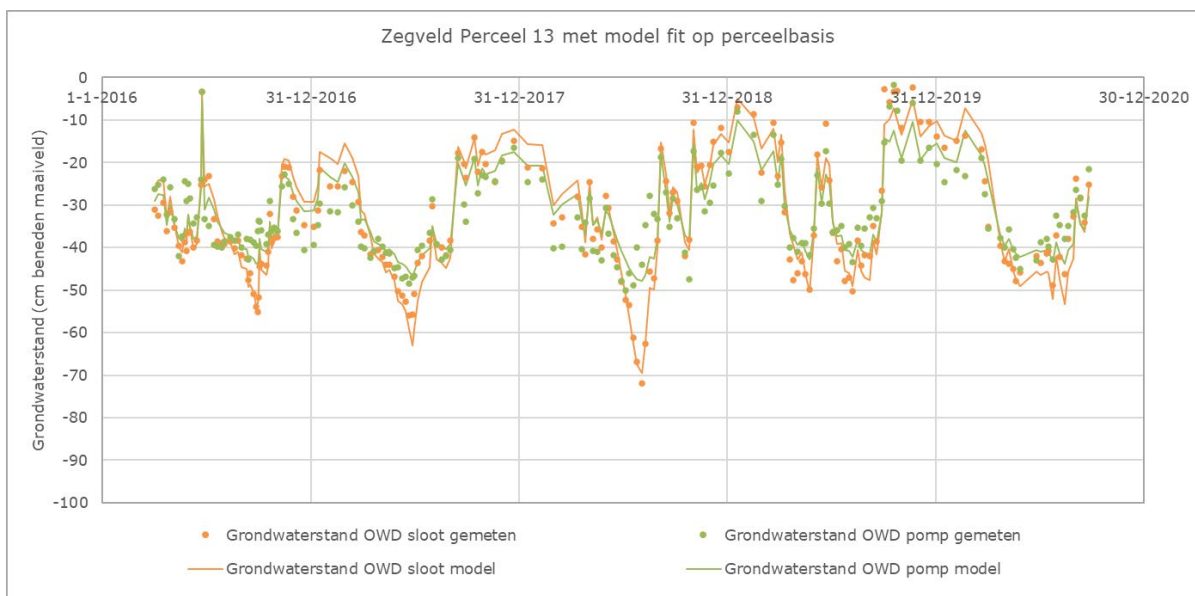
**Figuur 11** Delta REF uitgezet tegen Delta OWD ter illustratie van de gemodelleerde verschillen (in- en exclusief intercept) tussen Onderwaterdrains op de sloot (OWD-sloot, groen), Pompgestuurde onderwaterdrains (OWD-pomp, rood) en de Referentie (blauw) voor perceel 13 (links) en perceel 14 (rechts) bij een drooglegging van 20 cm. Het modelbereik voor Delta Ref en Delta OWD is gesteld op +25 cm tot -25 cm. Extrapoleren met waarden > 25 cm voor Delta Ref geeft risico op onbetrouwbare resultaten.



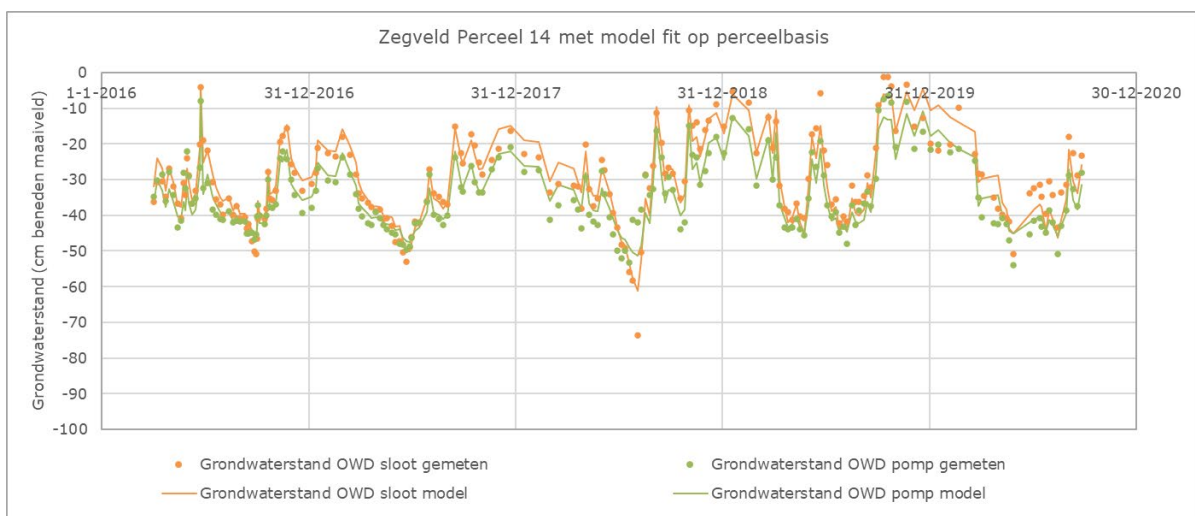


**Figuur 12** Delta REF uitgezet tegen Delta OWD ter illustratie van de gemodelleerde verschillen (in- en exclusief intercept) tussen Onderwaterdrains op de sloot (OWD-sloot, groen), Pompgestuurde onderwaterdrains (OWD-pomp, rood) en de Referentie (blauw) voor perceel 15 (links) en perceel 16 (rechts) bij een drooglegging van 55 cm. Het modelbereik voor Delta Ref en Delta OWD is gesteld op +25 cm tot -25 cm. Extrapoleren met waarden > 25 cm voor Delta Ref geeft risico op onbetrouwbare resultaten.

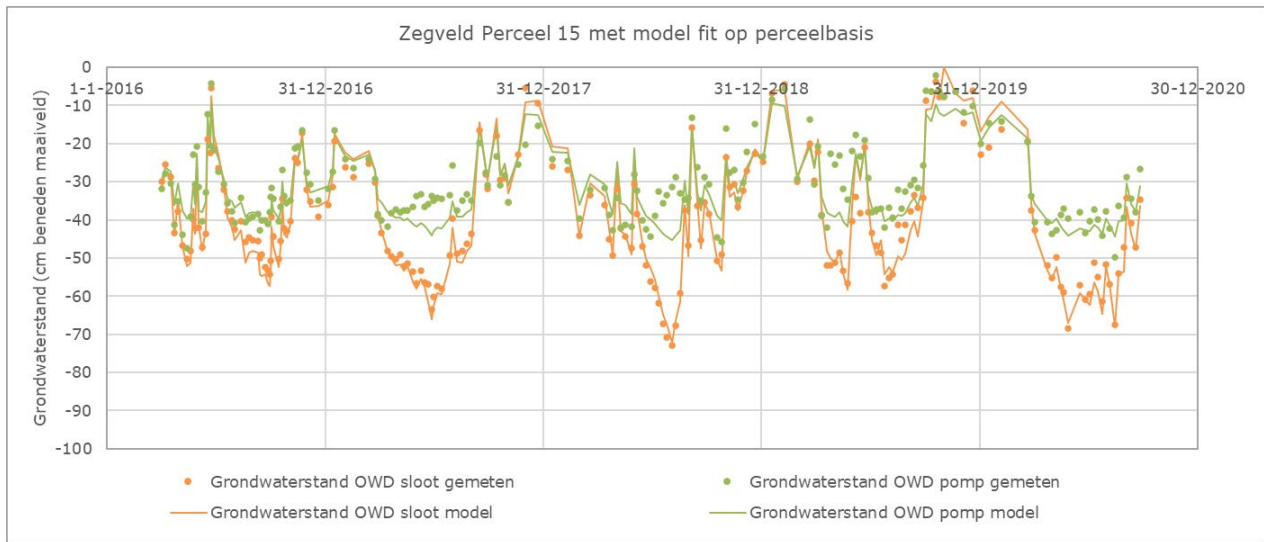
## Bijlage 7 Modelfit per perceel



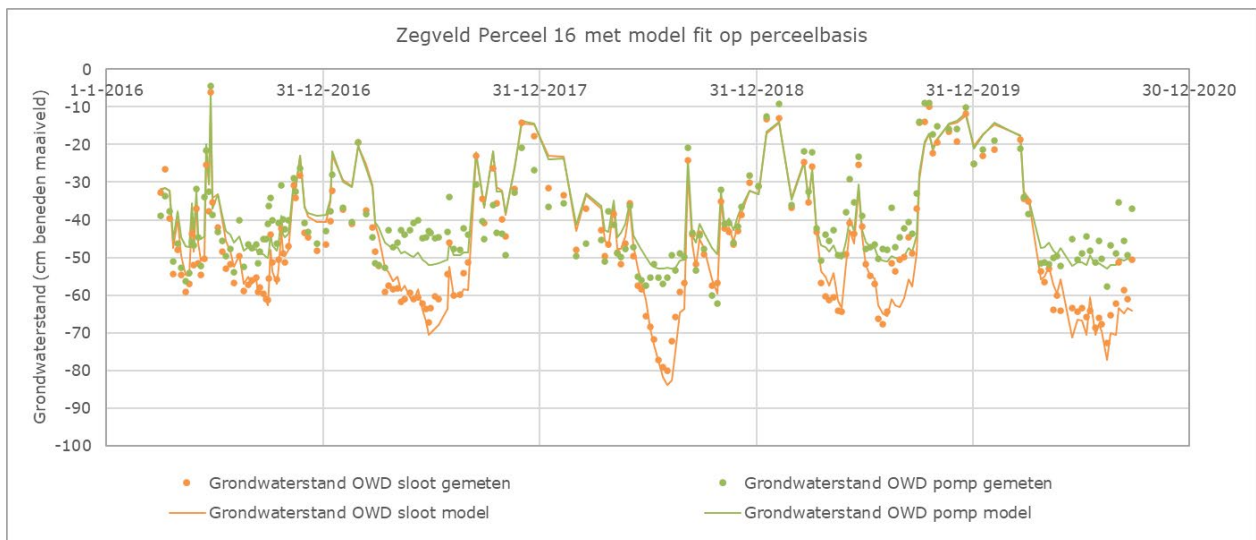
**Figuur 13** De gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor Onderwaterdrains op de sloot en Pompgestuurde onderwaterdrains voor perceel 13 met een modelfit op perceelbasis bij een vast hoog slootpeil met een drooglegging van 20 cm.



**Figuur 14** De gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor Onderwaterdrains op de sloot en Pompgestuurde onderwaterdrains voor perceel 14 met een modelfit op perceelbasis bij een vast hoog slootpeil met een drooglegging van 20 cm.



**Figuur 15** De gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor Onderwaterdrains op de sloot en Pompgestuurde onderwaterdrains voor perceel 15 met een modelfit op perceelbasis bij een vast hoog slootpeil met een drooglegging van 55 cm.



**Figuur 16** De gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor Onderwaterdrains op de sloot en Pompgestuurde onderwaterdrains voor perceel 16 met een modelfit op perceelbasis bij een vast hoog slootpeil met een drooglegging van 55 cm.

# Bijlage 8 Botanische samenstelling

**Tabel 3** Botanische samenstelling proefpercelen voor Pompgestuurde drainage (a), Geen onderwaterdrains (b) en Onderwaterdrains op de sloot (c) najaar 2017.

Datum, bezetting en grassoort	13a	13b	13c	14a	14b	14c	15a	15b	15c	16a	16b	16c
Bedekking %	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Engels raaigras	57	57	61	53	58	51	55	54	48	69	67	69
Italiaans raaigras												
timotheegras	+	+	+	+	+	+	8	12	12	6	5	8
rietzwenkgras												
witte klaver	+											
ruw beemdgras	24	22	20	25	25	25	18	16	18	15	15	12
kweek	3	2	3	5	3	4	2	1	2	1	2	1
fioringras	2	3	2	3	2	4	1	1	1	+	+	1
gestreepte witbol	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
veldbeemdgras												
straatgras	12	15	12	8	8	10	6	8	8	5	8	6
geknikte vossestaart	+	+	+	1	+	1	+	+	+	+	+	+
grote vossenstaart	+	+	+	+	+	+	2	2	3	1	+	+
kropaar		+										
ruwe smele												
mannagrass	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
zachte dravik	+	+			+	+					+	+
rietgras												
vogelmuur											+	
paardebloem	+	+	+	2	2	2	4	3	4	1	1	1
ridderzuring	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
krulzuring	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
veldzuring	+	+	+		+				+			
herderstasje	+	+	+	+	+	+			+			+
melganzevoet												
kruijpende boterbloem	2	1	2	3	2	3	4	3	4	2	2	2
grote weegbree												
paarse dovenetel												
zachte ooievaarsbek												
paarse dovenetel	+	+	+				+			+	+	
gewone hoornbloem												
zwaluwtong												
kleine vogelkers												
akkerdistel												
hondsdrif	+				+			+			+	+
brandnetel												
akkerereprijs												
gekroesde melkdistel												
zwarte nachtschade												

+ soort is wel aangetroffen, maar met < 1 %

**Tabel 4** Botanische samenstelling proefpercelen voor Pompgestuurde drainage (a), Geen onderwaterdrains (b) en Onderwaterdrains op de sloot (c) gekarteerd najaar 2018.

Datum, bezetting en grassoort	13a	13b	13c	14a	14b	14c	15a	15b	15c	16a	16b	16c
Bedekking %	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Engels raaigras	55	56	61	50	56	50	55	53	47	66	65	69
Italiaans raaigras												
timotheegras	+	+	+	+	+	+	8	12	12	6	6	8
rietzwenkgras												
witte klaver	+											
ruw beemdgras	25	23	20	25	25	25	18	16	18	16	16	12
kweek	3	2	3	5	3	4	2	1	2	1	2	1
fioringras	3	3	2	3	2	4	1	1	1	+	+	1
gestreepte witbol	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
veldbeemdgras												
straatgras	10	14	12	10	9	10	6	8	8	6	8	6
geknikte vossestaart	+	+	+	2	+	2	1	1	1	+	+	+
grote vossenstaart	+	+	+	+	+	+	2	2	3	1	+	+
kropaar		+										
ruwe smele												
mannagrass	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
zachte dravik	+	+			+	+					+	+
rietgras												
vogelmuur											+	
paardebloem	1	+	+	2	2	2	3	3	4	1	1	1
ridderzuring	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
krulzuring	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
veldzuring	+	+	+		+				+			
herderstasje	+	+	+	+	+	+			+			+
melganzevoet												
kruijende boterbloem	3	2	2	3	3	3	4	3	4	3	2	2
grote weegbree												
paarse dovenetel												
zachte ooievaarsbek												
paarse dovenetel	+	+	+				+			+	+	
gewone hoornbloem	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
zwaluwtong												
kleine vogelkers	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
akkerdistel												
hondsdrif	+				+			+			+	+
brandnetel	+							+				
akkerereprijs												
gekroesde melkdistel				+						+		
zwarte nachtschade												

+ soort is wel aangetroffen, maar met < 1 %

**Tabel 5** Botanische samenstelling proefpercelen voor Pompgestuurde drainage (a), Geen onderwaterdrains (b) en Onderwaterdrains op de sloot (c) najaar 2019.

Datum, bezetting en grassoort	13a	13b	13c	14a	14b	14c	15a	15b	15c	16a	16b	16c
Bedekking %	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Engels raaigras	56	56	60	55	58	54	55	58	54	72	71	68
Italiaans raaigras												
timotheegras	+	+	+	+	+	+	8	12	12	6	5	8
rietzwenkgras												
witte klaver	+											
ruw beemdgras	22	22	20	22	22	22	16	12	12	10	10	10
kweek	4	2	3	5	4	4	2	1	2	1	2	1
fioringras	5	5	3	5	3	4	1	1	1	+	+	1
gestreepte witbol	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+
veldbeemdgras												
straatgras	8	10	10	8	8	10	8	8	8	6	8	8
geknikte vossestaart	1	1	+	1	+	1	+	+	+	+	+	+
grote vossenstaart	+	+	+	+	+	+	2	2	3	1	+	+
krobaar		+										
ruwe smele												
mannagrass	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
zachte dravik	+	+			+	+					+	+
rietgras												
vogelmuur											+	
paardebloem	2	1	1	2	2	2	4	3	4	1	1	1
ridderzuring	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
krulzuring	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
veldzuring	+	+	+		+				+			
herderstasje	+	+	+	+	+	+			+			+
melganzevoet												
kruijpende boterbloem	2	3	3	2	2	3	4	3	4	3	3	3
grote weegbree												
paarse dovenetel												
zachte ooievaarsbek												
paarse dovenetel	+	+	+				+			+	+	
gewone hoornbloem	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
zwaluw tong												
kleine vogelkers	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
akkerdistel												
hondsdrif	+				+			+			+	+
brandnetel												
akkerereprijs												
gekroesde melkdistel			+	+								
zwarte nachtschade												

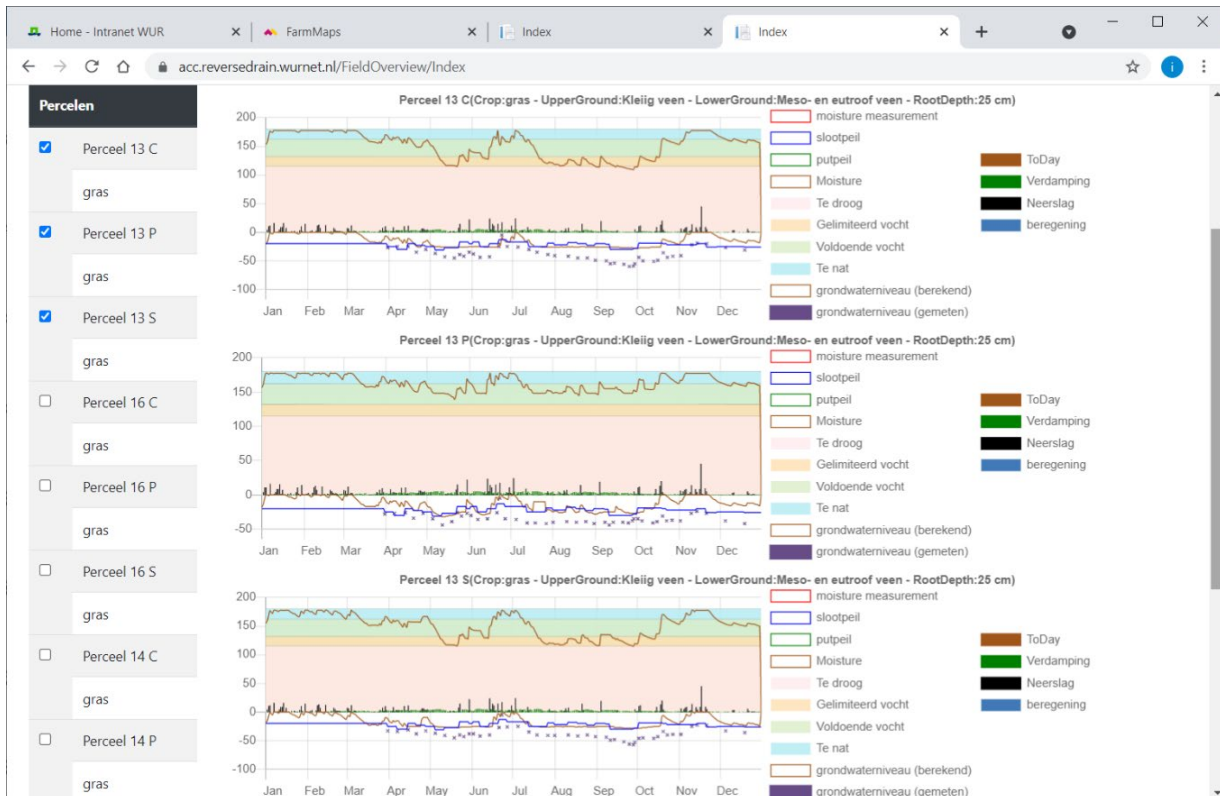
+ soort is wel aangetroffen, maar met < 1 %

**Tabel 6** Botanische samenstelling proefpercelen voor Pompgestuurde drainage (a), Geen onderwaterdrains (b) en Onderwaterdrains op de sloot (c) najaar 2020.

Perceel	13a	13b	13c	14a	14b	14c	15a	15b	15c	16a	16b	16c
Bedekking %	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Engels raaigras	57	57	61	53	58	51	55	54	48	69	67	69
Italiaans raaigras												
timotheegras	+	+	+	+	+	+	8	12	12	6	5	8
rietzwenkgras												
witte klaver	+											
ruw beemdgras	24	22	20	25	25	25	18	16	18	15	15	12
kweek	3	2	3	5	3	4	2	1	2	1	2	1
fioringras	2	3	2	3	2	4	1	1	1	+	+	1
gestreepte witbol	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
veldbeemdgras												
straatgras	12	15	12	8	8	10	6	8	8	5	8	6
geknikte vossestaart	+	+	+	1	+	1	+	+	+	+	+	+
grote vossenstaart	+	+	+	+	+	+	2	2	3	1	+	+
kropaar		+										
ruwe smele												
mannagrass	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
zachte dravik	+	+			+	+					+	+
rietgras												
vogelmuur												+
paardebloem	+	+	+	2	2	2	4	3	4	1	1	1
ridderzuring	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
krulzuring	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
veldzuring	+	+	+		+				+			
herderstasje	+	+	+	+	+	+			+			+
melganzevoet												
krappende boterbloem	2	1	2	3	2	3	4	3	4	2	2	2
grote weegbree												
paarse dovenetel												
zachte ooievaarsbek												
paarse dovenetel	+	+	+				+			+	+	
gewone hoornbloem												
zwaluw tong												
kleine vogelkers												
akkerdistel												
hondsdrif	+				+			+			+	+
brandnetel												
akkerereprijs												
gekroesde melkdistel												
zwarte nachtschade												

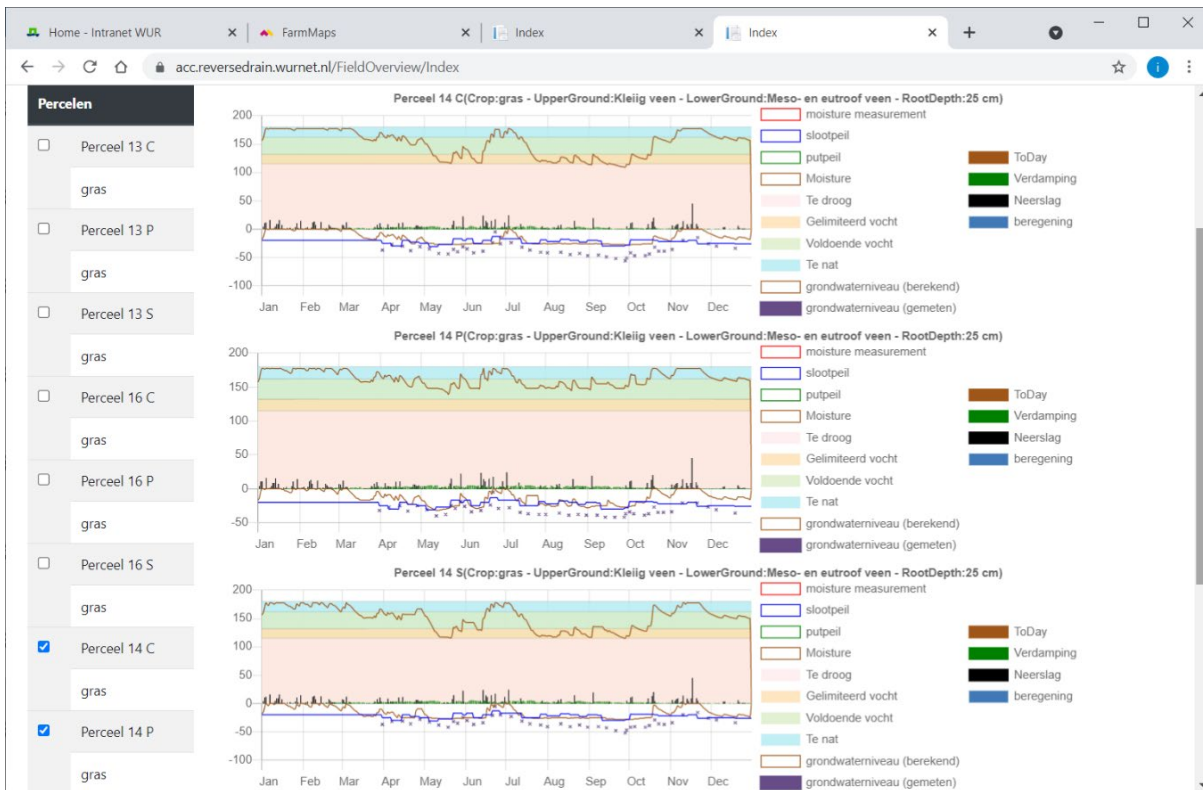
+ soort is wel aangetroffen, maar met < 1 %

# Bijlage 9 Webapplicatie Reverse Drain

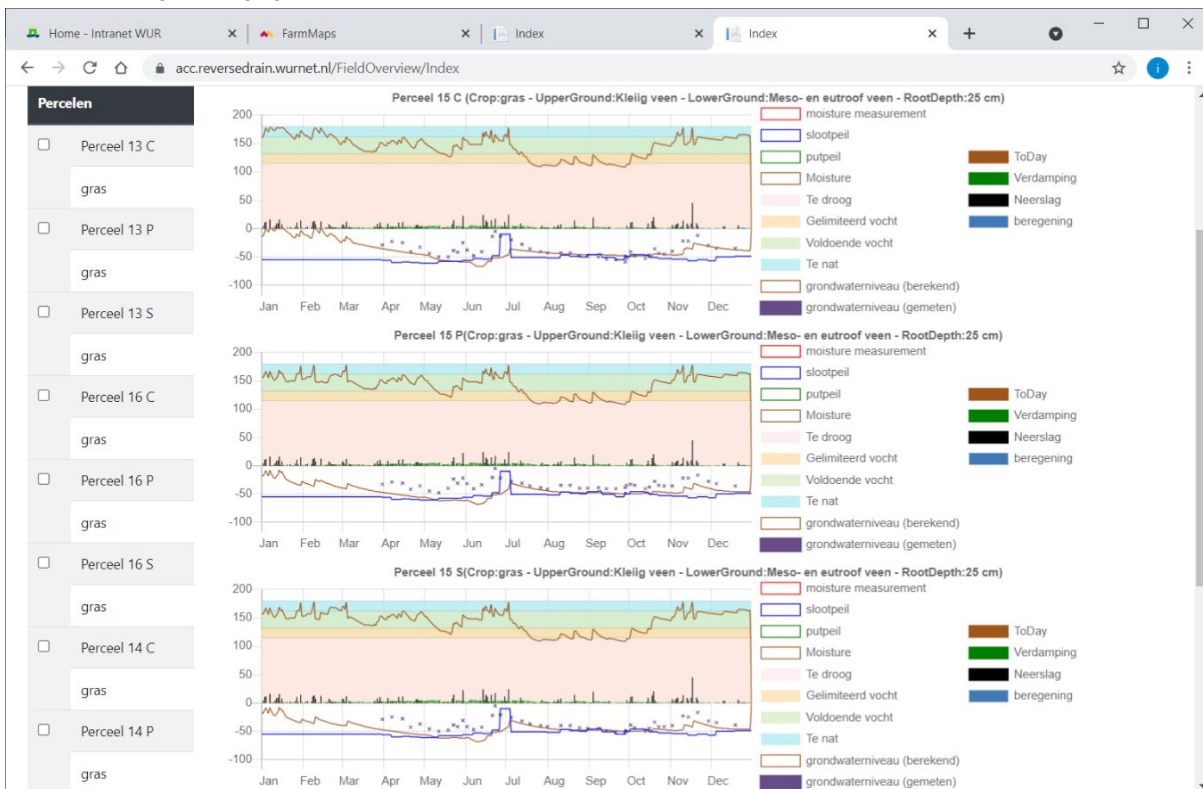


**Figuur 17** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 13 bij een drooglegging van 20 cm in 2016.

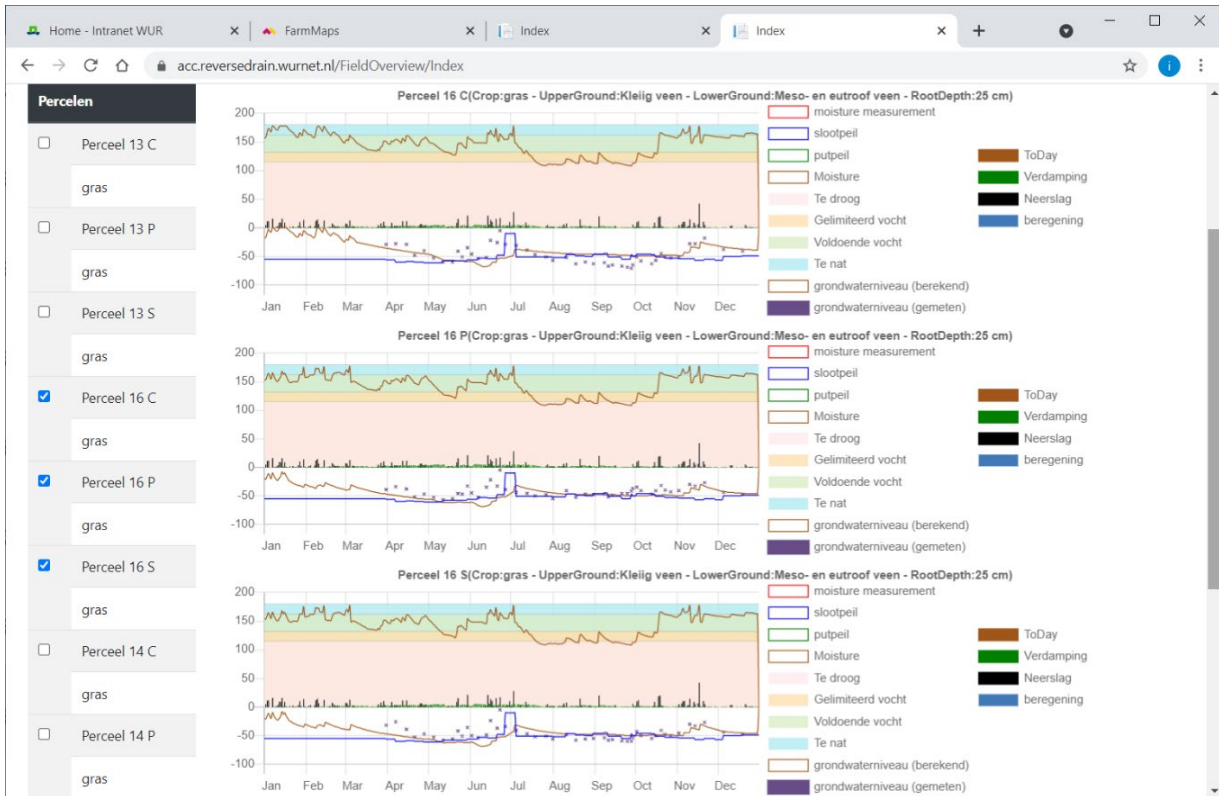




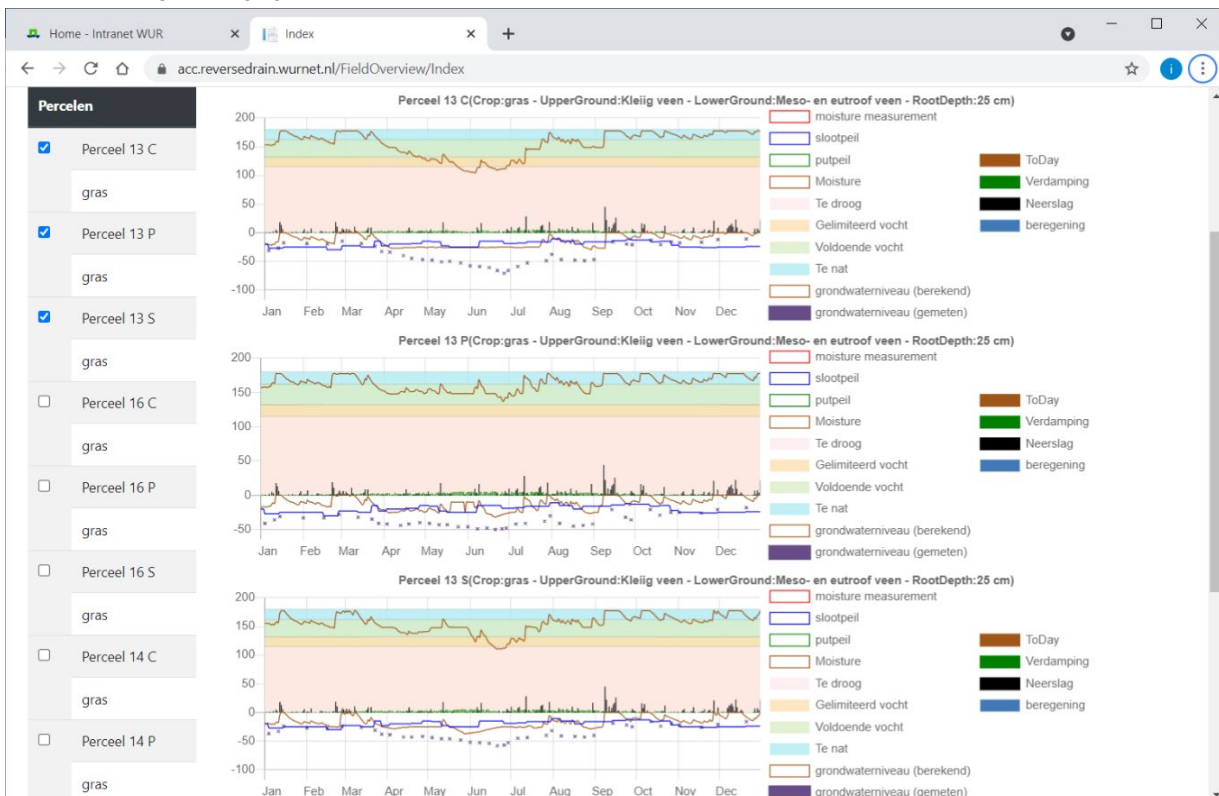
**Figuur 18** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 14 bij een drooglegging van 20 cm in 2016.



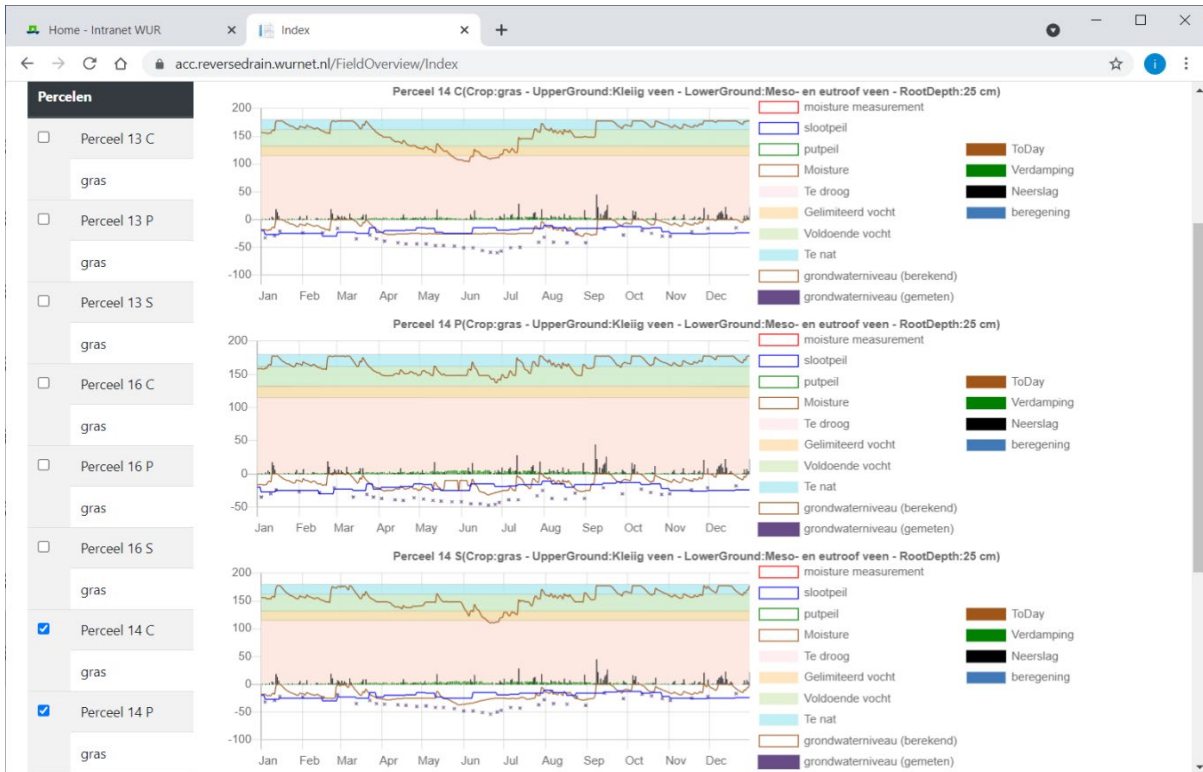
**Figuur 19** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 15 bij een drooglegging van 55 cm in 2016.



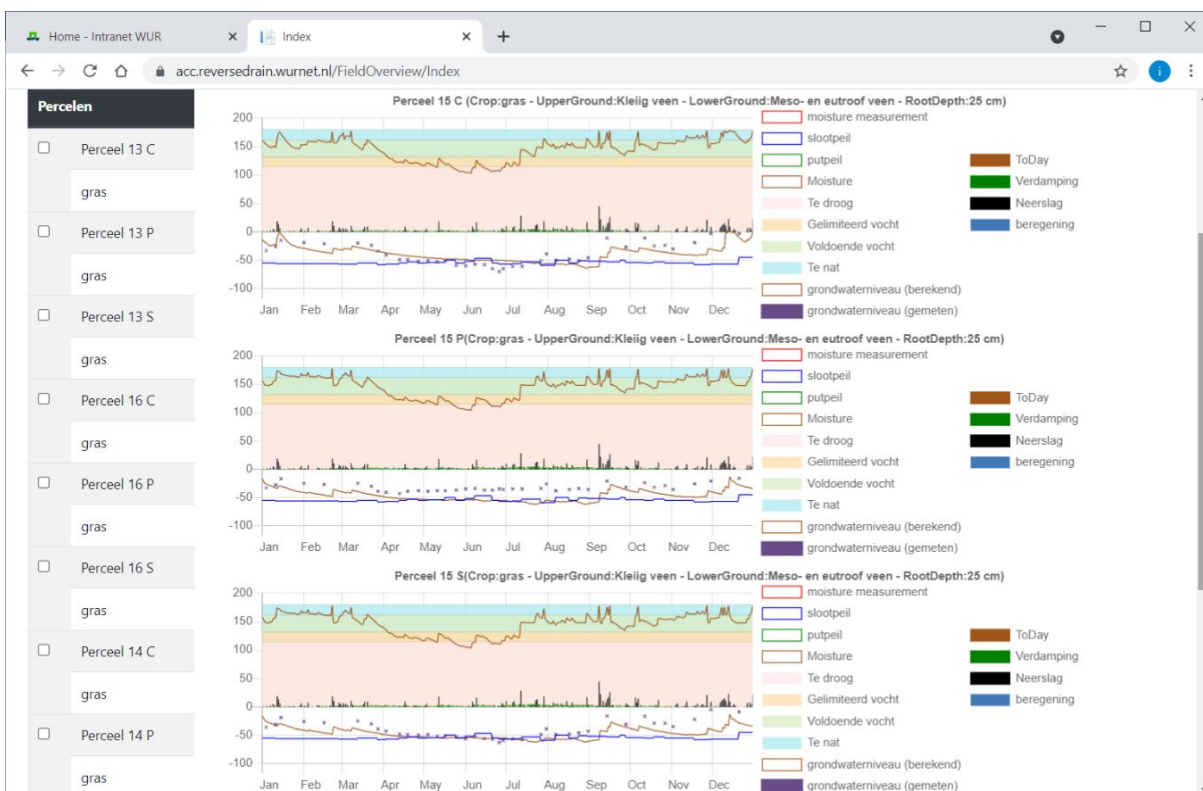
**Figuur 20** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 16 bij een drooglegging van 55 cm in 2016.



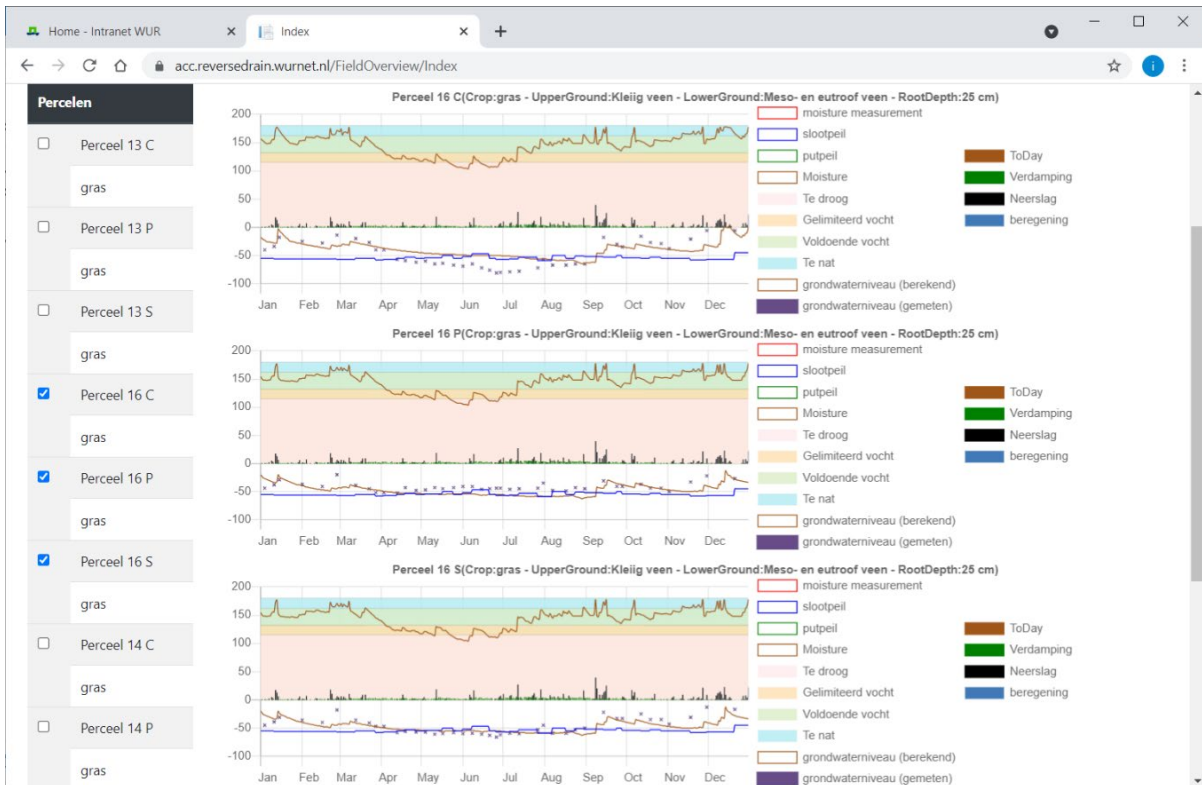
**Figuur 21** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 13 bij een drooglegging van 20 cm in 2017.



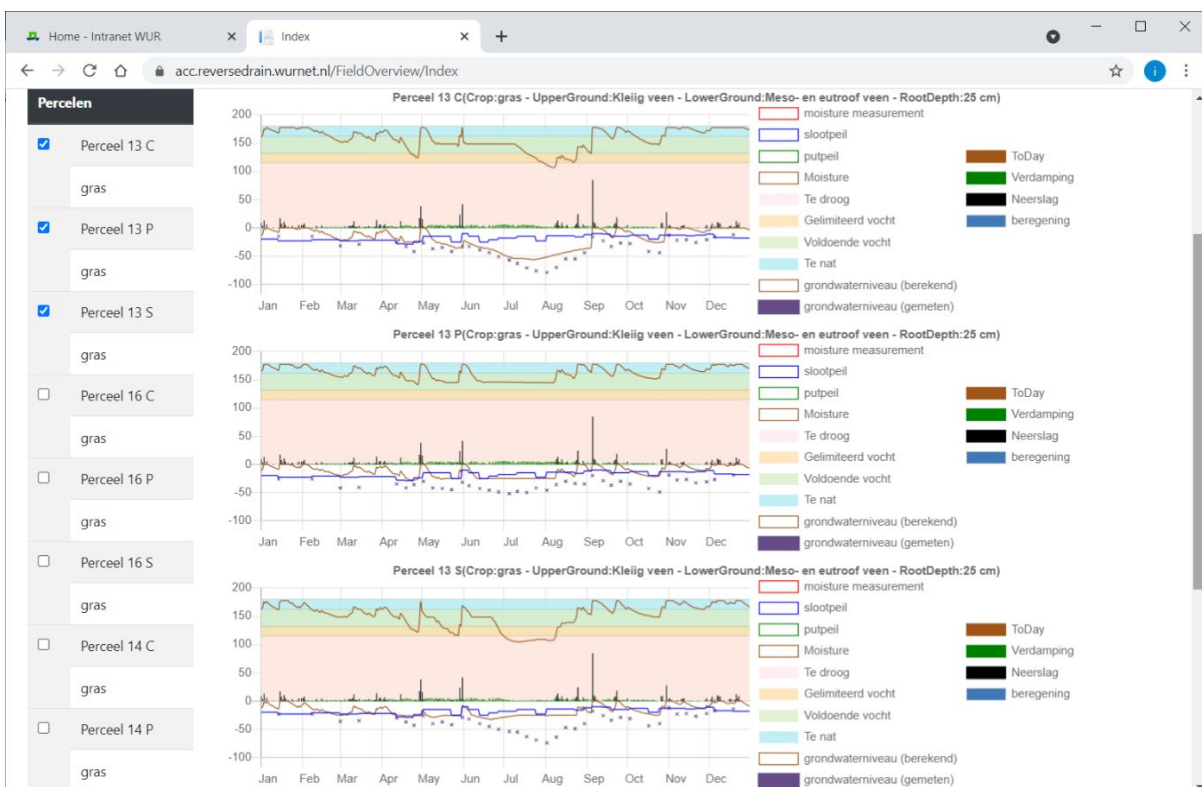
**Figuur 22** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 14 bij een drooglegging van 20 cm in 2017.



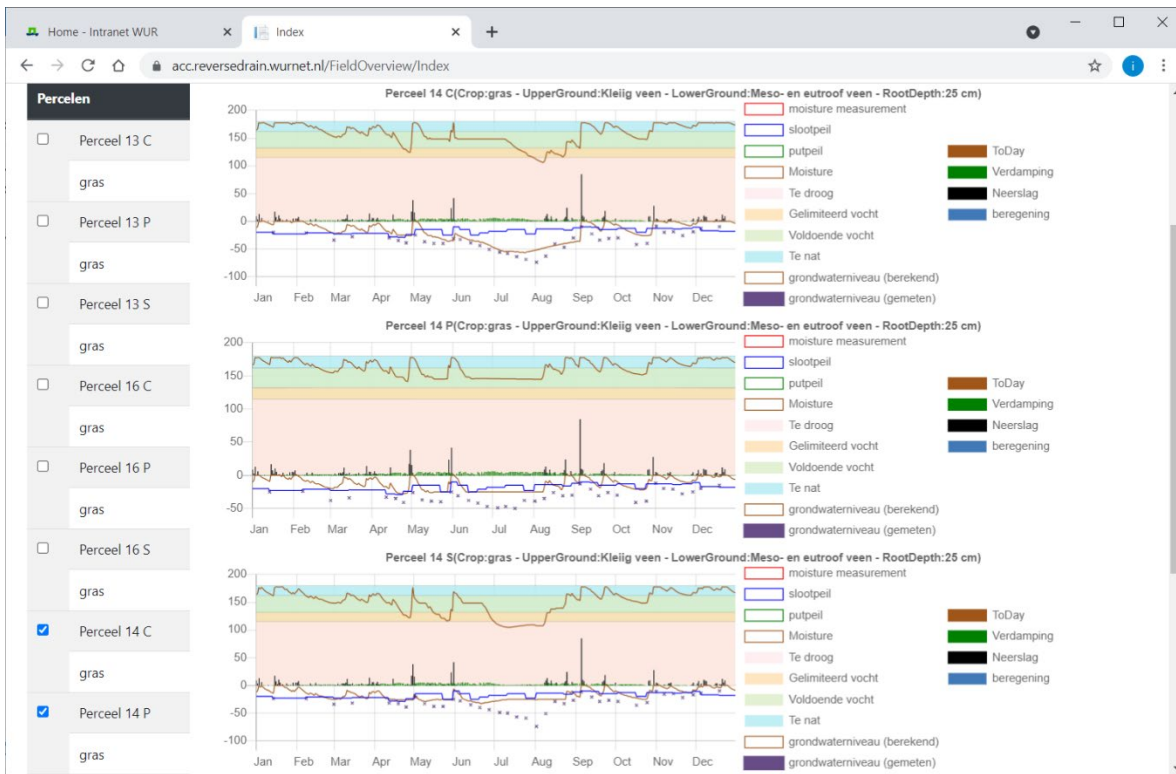
**Figuur 23** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 15 bij een drooglegging van 55 cm in 2017.



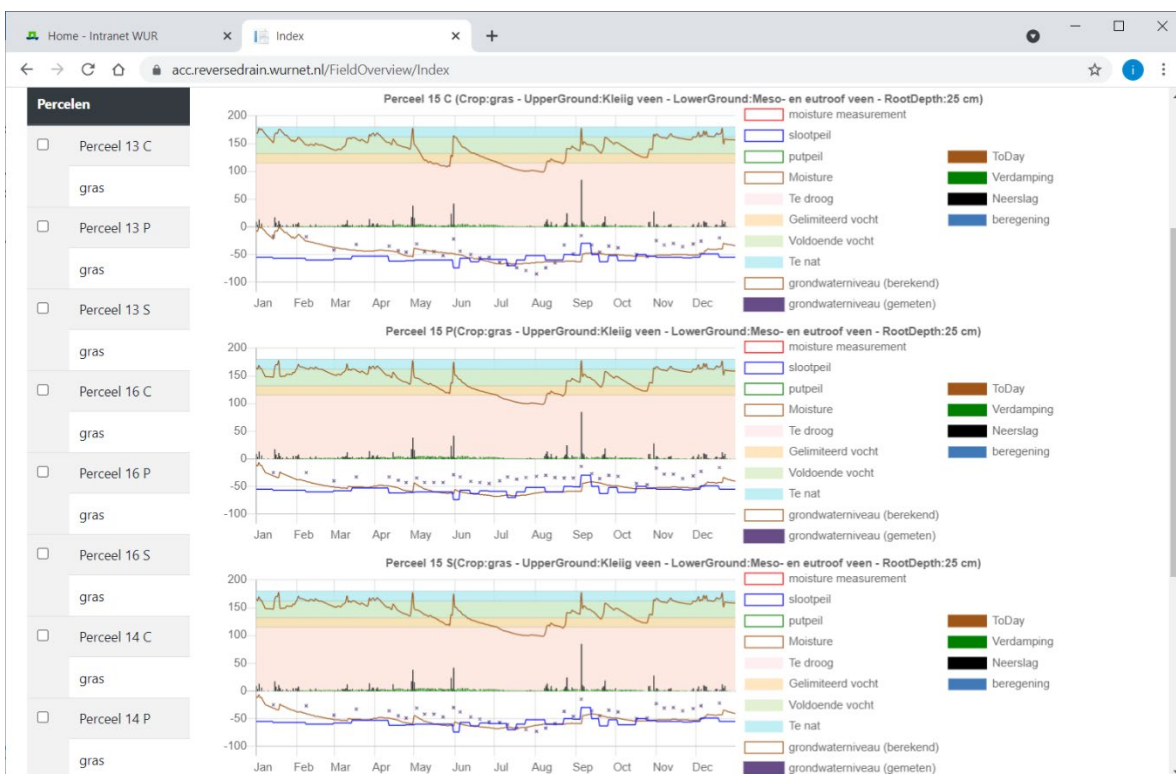
**Figuur 24** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 16 bij een drooglegging van 55 cm in 2017.



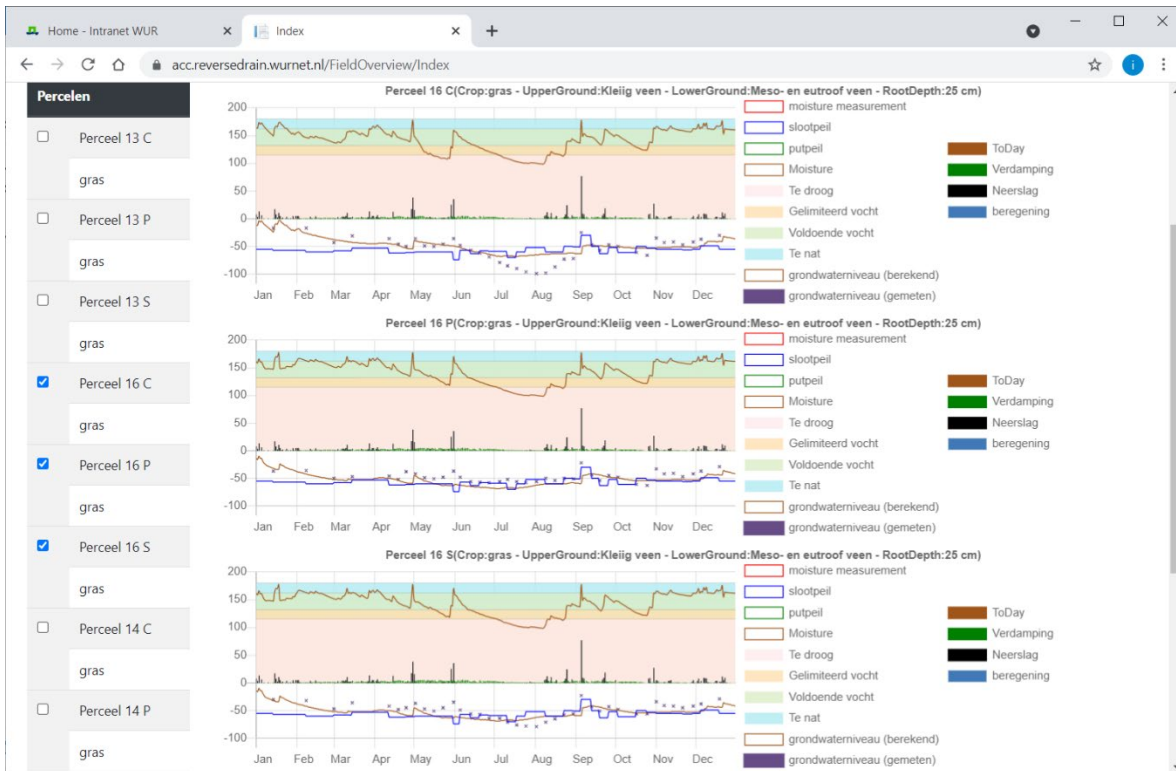
**Figuur 25** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 13 bij een drooglegging van 20 cm in 2018.



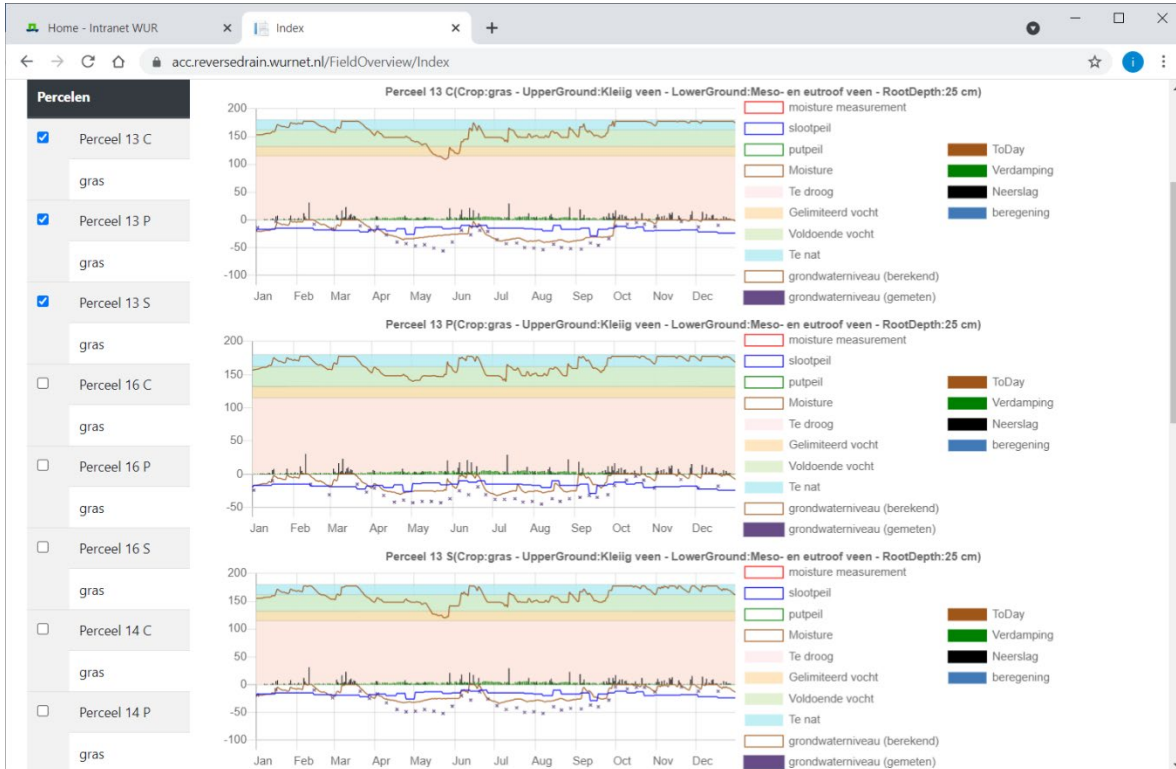
**Figuur 26** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slootpeil voor perceel 14 bij een drooglegging van 20 cm in 2018.



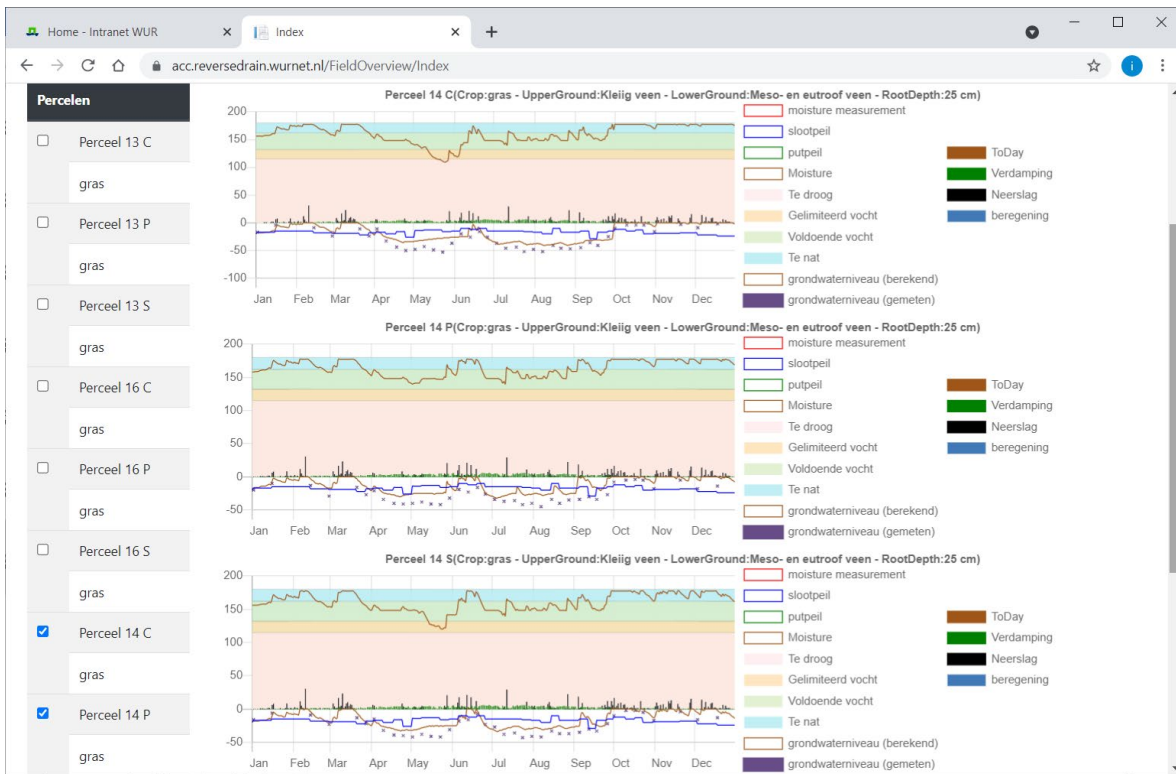
**Figuur 27** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slootpeil voor perceel 15 bij een drooglegging van 55 cm in 2018.



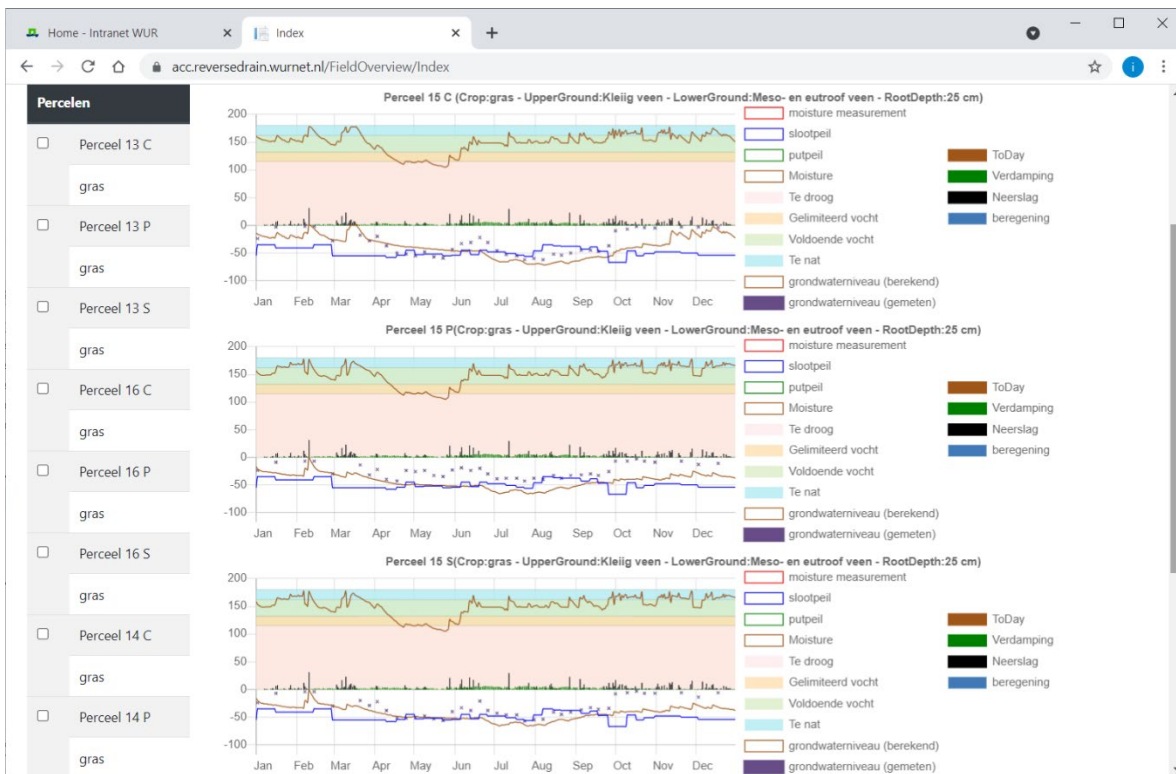
**Figuur 28** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 16 bij een drooglegging van 55 cm in 2018.



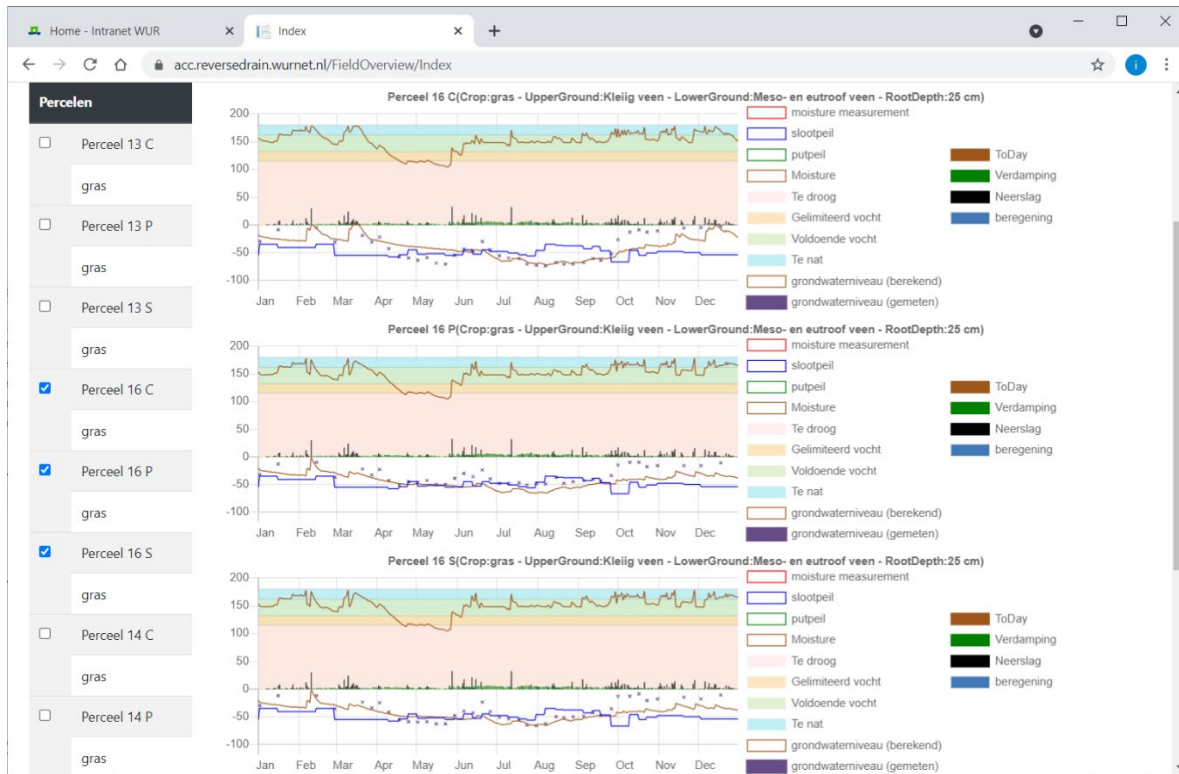
**Figuur 29** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 13 bij een drooglegging van 20 cm in 2019.



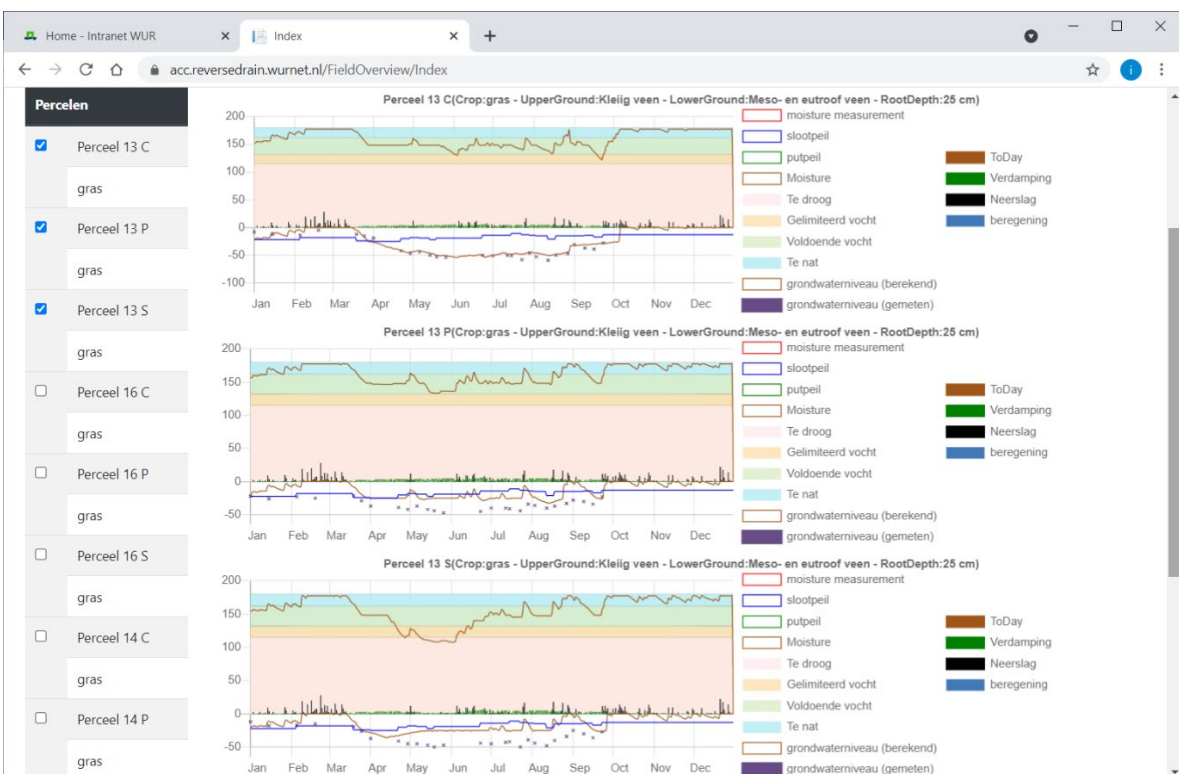
**Figuur 30** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 14 bij een drooglegging van 20 cm in 2019.



**Figuur 31** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 15 bij een drooglegging van 55 cm in 2019.

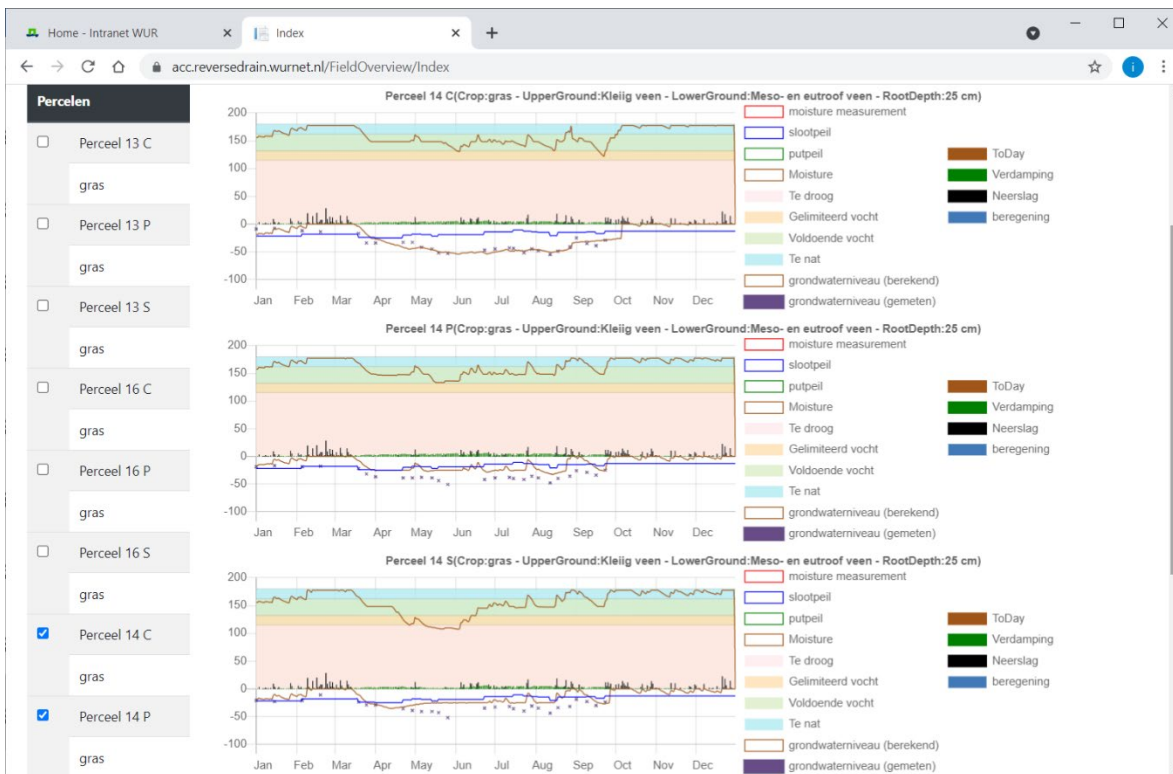


**Figuur 32** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 16 bij een drooglegging van 55 cm in 2019.

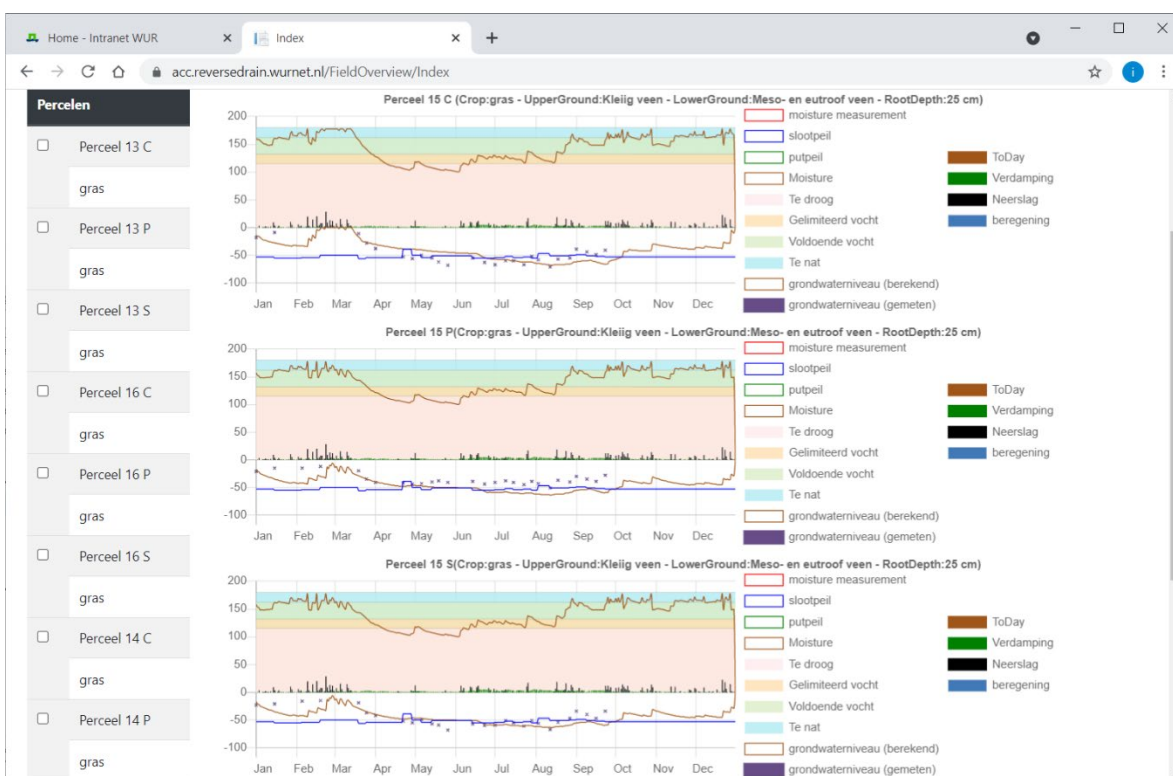


**Figuur 33** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 13 bij een drooglegging van 20 cm in 2020.

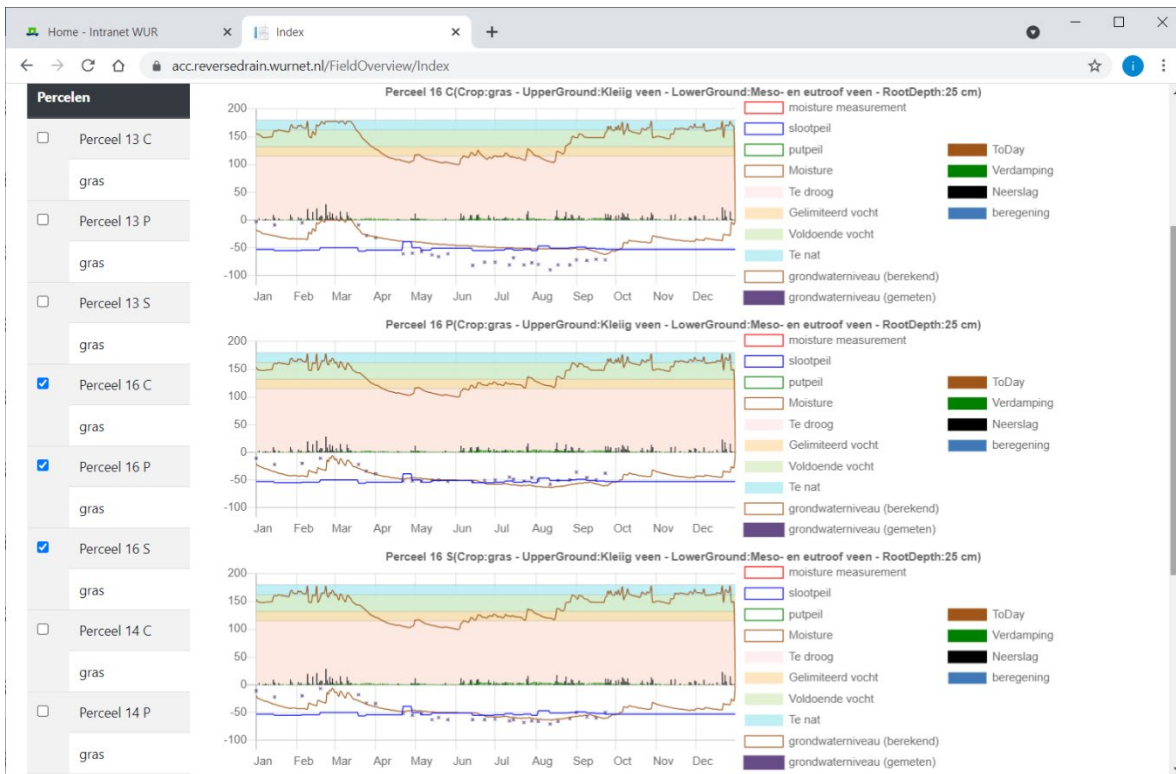




**Figuur 34** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 14 bij een drooglegging van 20 cm in 2020.



**Figuur 35** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 15 bij een drooglegging van 55 cm in 2020.



**Figuur 36** Het verloop van de gesimuleerde bodemvochttoestand (positieve deel van de y-as) en de grondwaterstand (negatieve deel van de y-as) per drainbehandeling (C: Referentie, S : Onderwaterdrains op de sloot en P: Pompgestuurde onderwaterdrains) met de webapplicatie Reverse Drain, verdamping, neerslag en slooppeil voor perceel 16 bij een drooglegging van 55 cm in 2020.



To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Wageningen Livestock Research  
Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
T 0317 48 39 53  
E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wur.nl/livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research)

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

