



Waterinfiltratie met drukdrains en greppels voor veenbehoud en emissiereductie

Deelonderzoek 'natte veeteelt' in het Innovatie Programma Veen (2018-2021)

I.E. Hoving, J.W. van Riel, H.T.L. Massop, K. van Houwelingen en M. Bijman

Rapport 1345



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Waterinfiltratie met drukdrains en greppels voor veenbehoud en emissiereductie

Deelonderzoek 'natte veeteelt' in het Innovatie Programma Veen (2018-2021)

Auteurs

I.E. Hoving¹, J.W. van Riel¹, H.T.L. Massop², K. van Houwelingen³ en M. Bijman⁴

1 Wageningen Livestock Research

2 Wageningen Environmental Research

3 Kennis Transfer Centrum (KTC) Zegveld

4 Vereniging Agrarisch Natuur- en Landschapsbeheer Water, Land en Dijken

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research in opdracht van het Innovatie Programma Veen, een initiatief van Landschap Noord Holland en Vereniging Agrarisch Natuur- en Landschapsbeheer Water, Land en Dijken en gefinancierd door Provincie Noord-Holland, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, de Bestuurlijke Regiegroep Laag Holland 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, juni 2022

Rapport 1345



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Hoving, I.E., J.W. van Riel, H.T.L. Massop, K. van Houwelingen en M. Bijman, 2022. *Waterinfiltratie met drukdrains en greppels voor veenbehoud en emissiereductie; Deelonderzoek 'natte veeteelt' in het Innovatie Programma Veen (2018-2021)*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1345.

Samenvatting NL

In het kader van het InnovatieProgramma Veen (IPV) is in 2018 tot en met 2021 het effect van pompgestuurde onderwaterdrains (drukdrains of AWIS) en greppelsinfiltratie op de grondwaterstand onderzocht. Onderwaterdrains liggen onder slootpeil en kunnen zowel draineren als infiltreren. Bij drukdrains wordt met extra voorzieningen het drukverschil tussen oppervlaktewater en grondwaterstand vergroot en dit versterkt de werking van de drains. Op de proefpercelen waar het drukdrainsysteem goed functioneerde kon in het groeiseizoen met drukdrains de grondwaterstand op een significant hoger peil gehouden worden. Ook met greppelinfiltratie kon dit gerealiseerd worden, maar de maatregel was minder effectief dan drukdrains. Beide maatregelen hebben potentie om maaiveldveldaling en broeikasgasemissie te verminderen.

Summary UK

In the context of the Peat Innovation Program, the effect of pump-controlled submerged drains (pressure drains or AWIS) and trench infiltration on the groundwater table was investigated in 2018 to 2021. Submerged drains lie below ditch level and can both drain and infiltrate. In the case of pressure drains, additional facilities increase the pressure difference between surface water level and groundwater table and this enhances the functioning of the drains. On the test plots where the pressure drainage system functioned well, the groundwater level could be kept at a significantly higher level during the growing season with pressure drains. This could also be achieved with trench infiltration, but the measure was less effective than pressure drains. Both measures have the potential to reduce ground level subsidence and greenhouse gas emissions.

Foto omslag: Veenweiden Innovatiecentrum (VIC) Zegveld

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/557763> of op 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, 2022

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 1345

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Materiaal en methode	11
2.1 Bodemkarakteristiek proeflocatie	11
2.2 Proefopzet	14
2.3 Grondwaterstandsbeheer	16
2.4 Waarnemingen	18
2.5 Neerslagoverschot	20
2.6 GLG en GHG	20
2.7 Schatting maaiveldddaling en broeikasgasemissie	21
2.8 Statistische analyse grondwaterstanden	22
3 Resultaten	25
3.1 Maaiveldhoogte	25
3.2 Grondwaterstanden	26
3.2.1 Drukdrains	26
3.2.2 Greppelinfiltratie	34
3.3 Draagkracht	38
3.4 Graslandgebruik en praktijkervaringen	39
3.5 Botanische samenstelling	40
3.6 Maaiveldddaling en broeikasgasemissies	41
3.7 Grondwaterstandsbeheer	42
4 Discussie	43
4.1 Maaiveldhoogte	43
4.2 Grondwaterstanden	43
4.2.1 Drukdrains	43
4.2.2 Greppelinfiltratie	44
4.3 Draagkracht	45
4.4 Graslandgebruik en praktijkervaringen	45
4.5 Botanische samenstelling	45
4.6 Maaiveldddaling en broeikasgasemissies	45
4.7 Grondwaterstandsbeheer	47
5 Conclusies	48
Literatuur	49
Bijlage 1 Maaiveldhoogte proefpercelen	52
Bijlage 2 Boorgatmetingen	55
Bijlage 3 Plattegrond Greppelinfiltratie	56
Bijlage 4 Plaatsing peilbuizen Drukdrains	57
Bijlage 5 Grondwaterstanden Drukdrains	63
Bijlage 6 Grondwaterstanden op 0,5 en 1 m afstand van de drain	68
Bijlage 7 Modelfit Drukdrains	73

Bijlage 8	Grondwaterstanden greppelinfiltratie	78
Bijlage 9	Draagkracht graszode	79
Bijlage 10	Graslandkalender	80
Bijlage 11	Botanische samenstelling	81
Bijlage 12	App aansturing drukdrains	83

Woord vooraf

In het kader van het Innovatie Programma Veen Laag Holland (IPV) is door Wageningen Livestock Research, KTC Zegveld en Vereniging Agrarisch Natuur- en Landschapsbeheer Water, Land en Dijken onderzoek uitgevoerd naar het effect van het toepassen van de vernattingsmaatregelen greppelinfiltratie en pompgestuurde onderwaterdrains op de grondwaterstand op veengrond. Vooral het verhogen van de grondwaterstand in de zomer verlaagt op veengrond in potentie de bodemdaling en broeikasgasemissie.

Het IPV verkent en ontwikkelt nieuwe manieren om te komen tot behoud van veen en onderzoekt welke effecten vernatting kan hebben op de agrarische sector, de natuur en het landschap. Het IPV heeft tot doel het in praktijk brengen en testen van nieuw multifunctioneel agrarisch bedrijf, gericht op het sturen op veenbehoud. Verdergaande bodemdaling wordt voorkomen door vernatting, in plaats van ontwatering. Dit is dé uitdaging voor de toekomst van het veenweidegebied van Laag-Holland. Het IPV is een landbouwgericht pilotprogramma, waarin een duurzaam economische aanvulling of alternatief perspectief voor melkveehouderij wordt onderzocht in combinatie met veenbehoud: remmen van bodemdaling, broeikasgasuitstoot, verbetering van waterkwaliteit en biodiversiteit en effecten op het landschap.

Oprachtgever van het onderzoek was Landschap Noord-Holland en het project werd gefinancierd door provincie Noord-Holland. Tevens is gebruik gemaakt van financiering uit het Kennis Basis programma 34: Circulair en Klimaatneutraal Project KB-34-005-001 (Veengebieden in nieuwe circulaire en klimaatpositieve productiesystemen) om de statistische analyse zodanig uit te voeren dat de resultaten te veralgemeniseren zijn en gebruikt kunnen worden om effecten op de grondwaterstand te voorspellen voor vergelijkbare veenlocaties. Het veldwerk is uitgevoerd door vrijwilligers van de Vereniging Agrarisch Natuur- en Landschapsbeheer Water, Land en Dijken.

Het voorliggende rapport geeft inzicht in de potentie van pompgestuurde onderwaterdrains en greppelinfiltratie als vernattingsmaatregelen om de veenafbraak te verminderen en daarmee zo de maaielddaling en de bijdrage aan broeikasgasemissie te reduceren.

Dr. G. van Duinkerken
Manager Business Unit Wageningen Livestock Research



Samenvatting

In het kader van het Innovatie Programma Veen Laag Holland (IPV) is een veldproef uitgevoerd om inzicht te krijgen in de effecten van waterinfiltratie met drukdrains en greppels voor veenbehoud en reductie van broeikasgasemissie. Onderwaterdrains liggen onder slootpeil en kunnen zowel draineren als infiltreren. Bij drukdrains wordt met extra voorzieningen de werking van de drains versterkt. In de praktijk worden onderwaterdrains en drukdrains tegenwoordig respectievelijk aangeduid als Passief WaterInfiltratieSysteem (PWIS) en Actief WaterInfiltratieSysteem (AWIS). Door het verhogen van de grondwaterstand in de zomer blijft de bodem natter en dringt minder zuurstof in de bodem, waardoor minder veen afbreekt en de maaiveldddaling en de emissie van de broeikasgassen CO₂ en N₂O vermindert.

De doelstelling van het deelproject was om de grondwaterstand zodanig te sturen dat de bodemdaling en de broeikasgasemissie in potentie met 90% vermindert ten opzichte van de gangbare situatie met een drooglegging van 50 cm (afstand tussen slootpeil en de gemiddelde maaiveldhoogte). De veldproef was aangelegd op een pilot melkveebedrijf in Assendelft op percelen met gangbaar grasland en in polder Zuiderveen nabij Nauerna op een perceel met natuurgras. Op twee van de proefpercelen in Assendelft (perceel 1 en 1R) lag ook een proefveld van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV).

Drukdrains is een vorm van samengestelde regelbare drainage waarbij de drainbuizen aangesloten zijn op een afgesloten waterreservoir (put) en waarbij met een pomp het drukverschil tussen oppervlaktewater en grondwater vergroot wordt. Door het waterpeil in het waterreservoir op te zetten, wordt de waterinfiltratie bevorderd en de grondwaterstand extra verhoogd. De streefgrondwaterstand bepaalt de mate van vernatting die optreedt en het potentiële reducerende effect op maaiveldddaling en emissies van CO₂ en N₂O. Op het pilotbedrijf werd een streefgrondwaterstand van 30 á 35 cm beneden maaiveld gehanteerd en in polder Zuiderveen was de streefgrondwaterstand 10 á 15 cm beneden maaiveld. Het onderzoek in polder Zuiderveen had als neven doel te zien in hoeverre natuurwaarden vergroot konden worden door de extra vernatting. De drainafstand was 4 m en is afgestemd op de matige waterdoorlatendheid van de betreffende veenbodem (waardveen- en weideveengrond met een wisselende dikte van het kleidek).

In 2020 is in polder Zuiderveen een veldproef met greppelinfiltratie aangelegd om het effect van waterinfiltratie op de grondwaterstand bij verschillende greppelafstanden (6, 12 en 24 m) te bepalen. Door toepassing van greppelinfiltratie bij een relatief geringe drooglegging van 20 cm werden de greppels automatisch met water gevuld zonder extra voorzieningen.

Voor zowel *Drukdrains* als *Greppelinfiltratie* zijn de grondwaterstanden gemeten en statistisch geanalyseerd. Daarbij is de potentiële reductie van de maaiveldddaling en emissies van CO₂ en N₂O geschat op basis van de 'Van den Akker relaties'.

Het aanleggen van deugdelijke waterreservoirs en het realiseren van een goed functionerende aansturing van de pompen was aanvankelijk een beperking in het onderzoek. Voor de proefpercelen waar dit op orde was, kon in het groeiseizoen met *Drukdrains* de grondwaterstand op substantieel en significant hoger peil gehouden worden dan op de referentiepercelen zonder waterinfiltratiesysteem. Met *Greppelinfiltratie* kon de grondwaterstand ook op een hoger peil gehouden worden in de zomer, maar de maatregel was minder effectief dan *Drukdrains*. Daarbij moet echter opgemerkt dat de proefperiode slecht twee jaar betrof. Langere meetreeksen zijn gewenst om meer inzicht te krijgen in de potentie van *Greppelinfiltratie* als vernattingsmaatregel.

Voor *Drukdrains* leverde de gehanteerde streefgrondwaterstand geen beperking op voor het graslandgebruik ten opzichte van de *Referentie*. In natte perioden werd geprofiteerd van extra waterafvoer. De extra wateraanvoer leidde tijdens droge perioden niet tot een merkbare productieverhoging, echter hier is niet aan gemeten en zodoende kan hier geen betrouwbare uitspraak over gedaan worden. Wel kleurden de drukdrainpercelen in het najaar veel lichter groen dan de referentiepercelen, wat duidt op een geringere

beschikbaarheid van stikstof door een verminderde bodemmineralisatie. Extra infiltratie kan de grasproductie verlagen aangezien stikstof een belangrijke groeifactor is.

Beide vernattingsmaatregelen hebben potentie om maaiveldveldaling en broeikasgasemissie te verminderen. Een vermindering van de CO₂ en N₂O-emissie van 90 % (conform de doelstelling van het project) lijkt haalbaar, echter een belangrijke voorwaarde is dat een relatief hoge grondwaterstand wordt gerealiseerd van tenminste 30 á 35 cm beneden maaiveld.

1 Inleiding

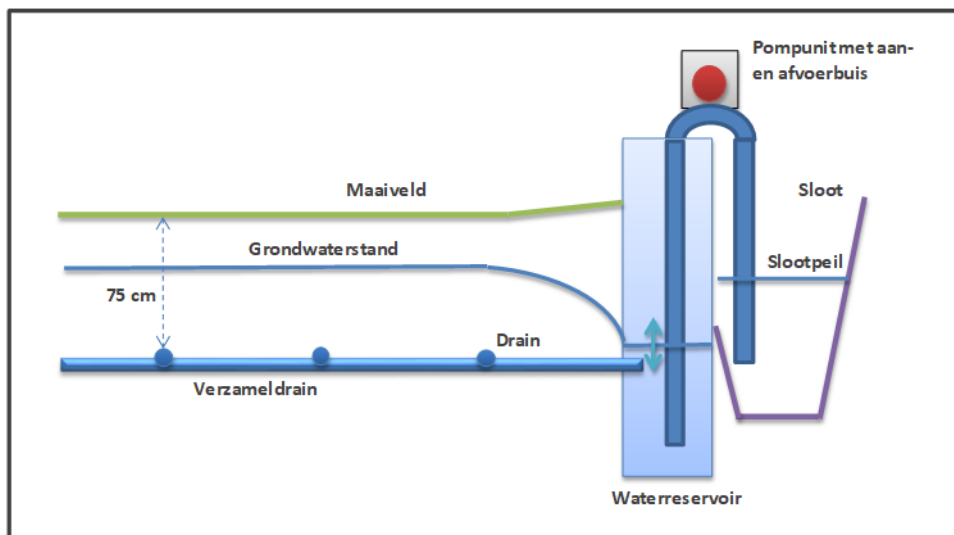
In het kader van het deelproject 'Natte veeteelt' van het Innovatie Programma Veen Laag Holland (IPV) is een veldproef uitgevoerd op een pilot melkveebedrijf in Assendelft en in polder Zuiderveen nabij Nauerna om inzicht te krijgen in de effecten van pompgestuurde onderwaterdrains (drukdrains) en greppelinfiltratie voor veenbehoud en emissiereductie. Het toepassen van drukdrains is een volgende ontwikkelstap op het toepassen van onderwaterdrains en bij greppelinfiltratie wordt de watertoevoer bevorderd door gebruik te maken van greppels en een relatief geringe drooglegging van 20 cm.

De systemen worden ingezet om waterinfiltratie vanuit het oppervlaktewater in de bodem te bevorderen. In de praktijk worden onderwaterdrains en drukdrains tegenwoordig respectievelijk aangeduid als Passief WaterInfiltratieSysteem (PWIS) en Actief WaterInfiltratieSysteem (AWIS). In het rapport is voor de verbinding met de voorgaande onderzoeken vastgehouden aan de termen drukdrains en onderwaterdrains. In het onderstaande staat een toelichting op beide systemen.

De doelstelling van het IPV-deelproject was om de grondwaterstand zodanig te sturen dat de bodemdaling en broeikasgasemissie in potentie met 90% vermindert ten opzichte van de gangbare situatie met een drooglegging van 50 cm (afstand tussen slootpeil en gemiddelde maaiveldhoogte).

Onderwaterdrains zijn drainbuizen die onder slootpeil zijn aangelegd, om het watertransport van het oppervlaktewater naar het grondwater en vice versa te versnellen. Op proefbedrijf KTC Zegveld is van 2004 tot 2007 onderzoek gedaan naar het effect van onderwaterdrains op de grondwaterstand bij twee droogleggingen en drie drainafstanden (Hoving et al., 2008). Het effect op de grondwaterstand wordt in sterke mate bepaald door de drooglegging en de drainafstand die hierbij gehanteerd wordt. Door het verhogen van de grondwaterstand in de zomer blijft de bodem natter en dringt minder zuurstof in de bodem, waardoor minder veen afbreekt en de maaiveldaling en de emissie van de broeikasgassen CO₂ en N₂O vermindert.

In 2016 zijn op KTC Zegveld drukdrains geïntroduceerd om te zien of ten opzichte van onderwaterdrains op de sloot het infiltrerende en drainerende effect verder versterkt kon worden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een waterreservoir (put) waar de drainbuizen op aangesloten worden. De drains staan bij deze toepassing niet meer rechtstreeks in verbinding met het oppervlaktewater, maar komen samen in een waterreservoir. Het reservoir wordt tussen de drains en de sloot geplaatst en met een pomp kan in het reservoir de gewenste ontwateringsbasis gerealiseerd worden onafhankelijk van het slootpeil. Met een relatief laag en hoog peil kan respectievelijk de drainerende en infiltrerende werking sterk vergroot worden. De aanleg van drukdrains is geïllustreerd in Figuur 1.1. Uit onderzoek op KTC Zegveld (2016-2020) bleek hiermee zowel de infiltrerende werking als de drainerende werking significant te vergrootten (Hoving et al., 2021). Daarbij werd infiltratie relatief meer bevorderd dan de drainage door op een grondwaterstand van 35 cm beneden maaiveld te sturen.



Figuur 1.1 Dwarsdoorsnede van een perceel met drukdrains waarbij in het waterreservoir met een pomp de ontwateringsbasis geregeld wordt.

De aansturing van de pomp gebeurt op basis van de actuele grondwaterstand en de weersverwachting. Een groot voordeel van het gebruik van een waterreservoir is dat de buisdrains niet meer in de sloot uitkomen en dus ook niet meer beschadigd kunnen raken bij slootonderhoud of verstopt kunnen raken door instroming van bagger of andere verontreinigingen. Een negatief gevolg is echter, dat wanneer wel ergens in het systeem een verstopping optreedt, deze lastiger te verhelpen is.

De streefgrondwaterstand bepaalt uiteindelijk de mate van vernatting die optreedt en het potentiële reducerende effect op maaiveldddaling en emissies van CO₂ en N₂O. In het IPV-onderzoek werd op het pilotbedrijf in Assendelft op gangbaar grasland een streefgrondwaterstand van 30 á 35 cm beneden maaiveld gehanteerd en in polder Zuiderveen op een perceel met natuurgras was de streefgrondwaterstand 10 á 15 cm beneden maaiveld. Het onderzoek in polder Zuiderveen had als nevensdoel te zien in hoeverre natuurwaarden vergroot konden worden door de extra vernatting (Visbeen et al., 2021).

Op twee proefpercelen in Assendelft (perceel 1 en 1R, zie paragraaf 2.2) lag een proefveld van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV), waarin sinds het najaar van 2019 gemeten wordt aan de emissie van broeikasgassen op veengrond ten behoeve van de doelstellingen in het Klimaatakkoord.

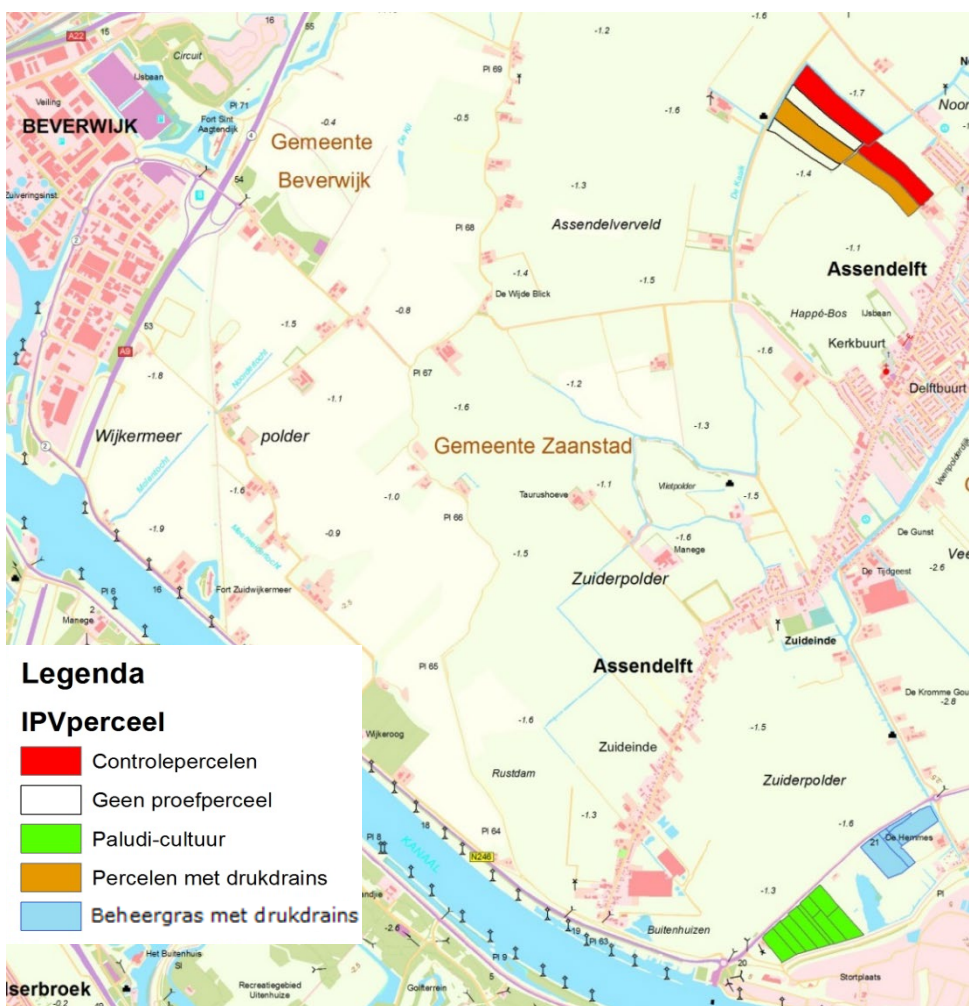
Om drukdrains en greppelinfiltratie in een breder perspectief te kunnen plaatsten, zijn in de beginfase van het IPV onderzoek integrale bedrijfsberekeningen uitgevoerd om de gevolgen voor de technische en economische resultaten van 'natte veeteelt' te kunnen inschatten en te onderbouwen (Hoving et al., 2020). Daarbij is de vernattingsmaatregel greppelinfiltratie doorgerekend als een laag-kosten alternatief voor drukdrains, welke een relatief hoge investering vragen. Uit de hydrologische berekeningen, die deel uitmaakten van de bedrijfsberekeningen, bleek dat bij een greppelafstand van 12,5 m en een drooglegging van 20 cm de grondwaterstand in de zomer substantieel verhoogd werd. Naar aanleiding van deze inschatting is in 2020 in polder Zuiderveen een veldproef aangelegd om het effect van greppelinfiltratie op de grondwaterstand bij verschillende greppelafstanden te kunnen toetsen.

In het voorliggende rapport staan de onderzoeksresultaten van drukdrains en greppelinfiltratie met een statistische onderbouwing van de effecten en een inschatting van de potentiële reductie van de maaiveldddaling en emissies van CO₂ en N₂O.

2 Materiaal en methode

2.1 Bodemkarakteristiek proeflocatie

De proeflocatie bestond enerzijds uit proefpercelen op het pilot melkveebedrijf in Assendelft en anderzijds uit relatief natte natuurpercelen in de polder Zuiderveen nabij Nauerna. Op beide locaties waren drukdrains aangelegd en in polder Zuiderveen lagen daarnaast proefpercelen met greppelinfiltratie. Een kaart van de proeflocaties staat in Figuur 2.1. Binnen polder Zuiderveen is de ligging van de drukdrains en greppelinfiltratie niet aangegeven. Zie hiervoor Figuur 2.6.



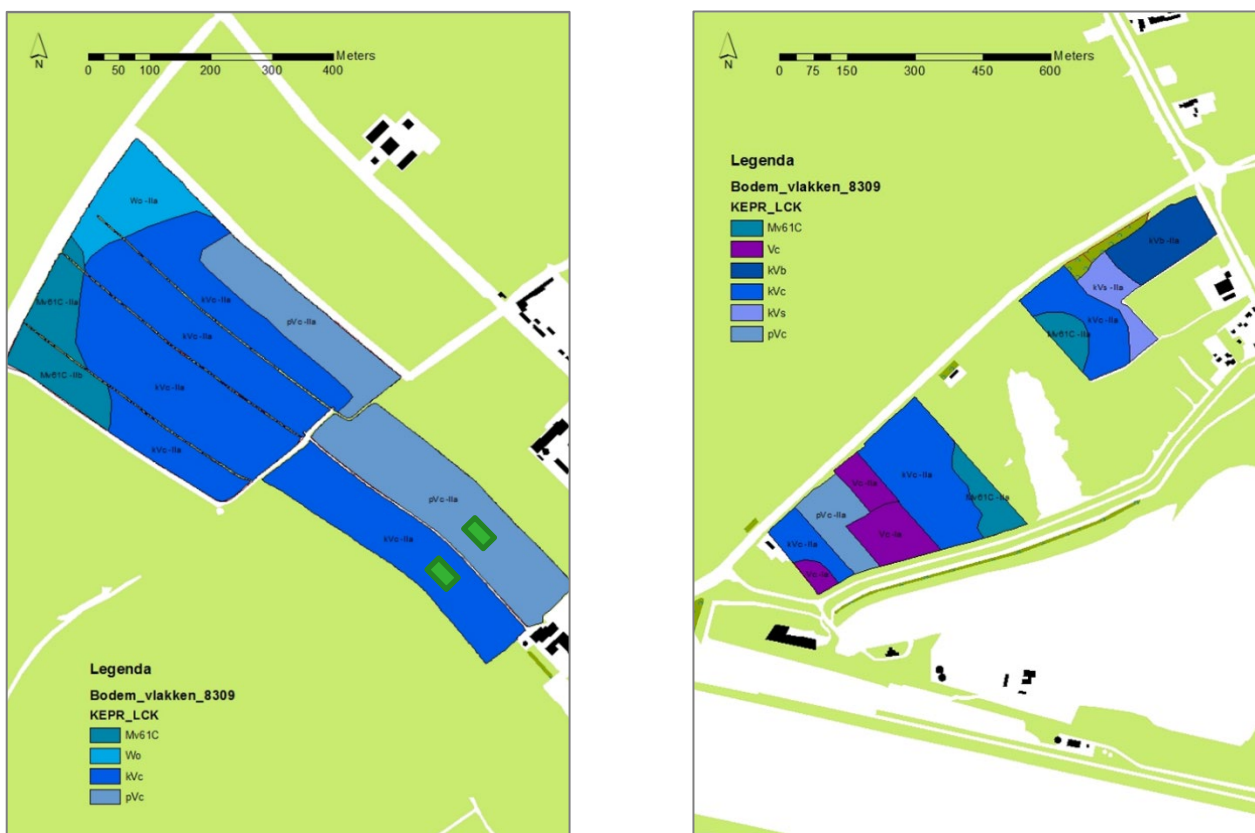
Figuur 2.1 Ligging van de onderzoekslocaties, met proefpercelen op het pilot melkveebedrijf in Assendelft (noordelijk) en in polder Zuiderveen nabij Nauerna (zuidelijk). Binnen polder Zuiderveen is de ligging van de drukdrains en greppelinfiltratie niet aangegeven. Zie hiervoor Figuur 2.6.

Ter voorbereiding van de aanleg van de proefpercelen is door Wageningen Environmental Research (WENR) een bodeminventarisatie uitgevoerd (Massop, 2017). De geselecteerde onderzoeklocaties lagen in een veengebied. Het maaiveld lag globaal tussen 1,60-2,00 m –NAP. In de ondergrond kwam een 1,5 -3 m dikke veenlaag voor. De gemiddelde drooglegging op de onderzoekslocatie voor drukdrains was ongeveer 55 cm en op de locatie voor natte landbouw in polder Zuiderveen 45 cm. Het landgebruik van de percelen was gras. Het gebied is overwegend een kwelgebied met 0-0,2 mm per dag.

Volgens de 1:50.000 bodemkaart betrof de bodems van de percelen van locatie Assendelft hoofdzakelijk de bodemeenheden waardveengrond (kVc) en weideveengrond (pVc), die onderling vooral verschillen in dikte

van het kleidek, respectievelijk <15 cm en >15 cm. De ondergrond bestaat uit rietzeggeveen. De proeflocatie Assendelft werd tevens gebruikt voor onderzoek naar broeikasgasemissie en maaiveldaling in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV). De proefplots lagen nabij het pilotbedrijf op perceel 1 en 1R (paragraaf 2.2). Uit grondboringen bleek de bodem hier geclassificeerd te worden als weideveengrond (organische stofgehalte in de bovengrond < 20 %) of neigde zelfs naar koopveengrond (organische stofgehalte in de bovengrond > 25 %). Dit betekent dat er duidelijk minder klei aanwezig was dan volgens de bodemkaart. De ondergrond bestond op de proefplots uit zeggeveen met daaronder rietzeggeveen.

Op de percelen van de locatie Nauerna kwamen volgens de bodemkaart meerdere bodemeenheden voor. De bodem onder de graspercelen in Zuiderven en werd grotendeels gekwalificeerd als een waardveengrond met verschillende veensoorten in de ondergrond, namelijk bosveen, rietzeggeveen en veenmosveen met een kleidek van minder dan 15 cm. Een klein deel van de percelen, aan de westkant van de proeflocatie, werd gekwalificeerd als kleigrond met een veenondergrond. In Figuur 2.2 staat de uitsnede van een bodemkaart met de onderzoekspercelen en in Tabel 1 staat de beschrijving van de voorkomende bodemeenheden. In het linkerdeel van Figuur 2.2 zijn met groene kaders de NOBV-proefvelden aangegeven.



Figuur 2.2 Bodemkaart met codes voor verschillende bodemtypen van de proefpercelen te Assendelft en in polder Zuiderveen. In het linker deel van de figuur is met groene kaders de NOBV-proefvelden aangegeven.

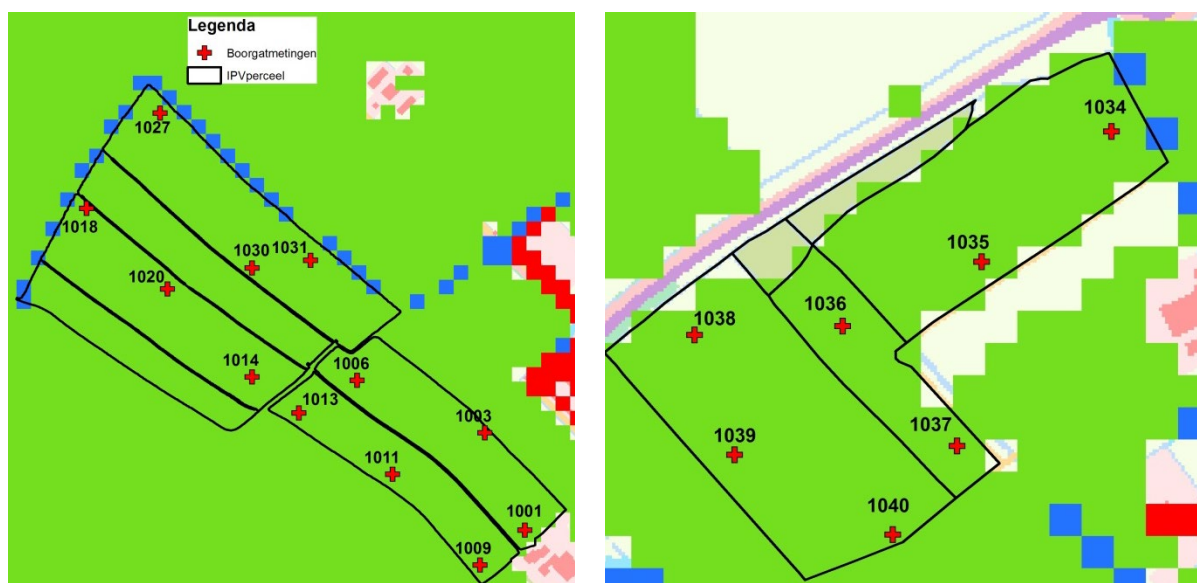
Tabel 1 Beschrijving van de voorkomende bodemeenheden op de bodemkaarten uit Figuur 2.2.

Bodentype	Kenmerk	Ondergrond
drech(vaag)gronden	kleigrond met veenondergrond	veen
vlierveengronden	geen kleidek, moerige gerijpte bovengrond	rietzeggeveen
nes(vaag)gronden	kleigrond met ongerijpte ondergrond	slappe klei en veen
waardveengronden	kleidek, minerale eerdlaag <15cm	bosveen
waardveengronden	kleidek, minerale eerdlaag <15cm	rietzeggeveen
waardveengronden	kleidek, minerale eerdlaag <15cm	veenmosveen
weideveengronden	kleidek, minerale eerdlaag >15cm	rietzeggeveen

In Bijlage 1 staan maaiveldhoogte gegevens volgens AHN2 (2011) van de proefpercelen 1-6 op het IPV-pilotbedrijf te Assendelft en proefpercelen 7-20 in polder Zuiderveen te Nauerna.

Op de percelen waar drukdrains werden geïnstalleerd, zijn doorlatendheidsmetingen uitgevoerd met de boorgatenmethode om de drainafstand te bepalen (Massop, 2017). De afstand waarop drainbuizen nog voldoende effectief zijn hangt onder andere af van de horizontale doorlatendheid (k_{sat}) van de grond. Tijdens de meting wordt een gat geboord en wordt de doorlatendheid vastgesteld door het boorgat leeg te pompen en te meten hoe snel het grondwater stijgt.

De boorgatmetingen zijn uitgevoerd op 24 maart 2017 op het pilotbedrijf te Assendelft en op 29-3-2017 in polder Zuiderveen. Op het pilotbedrijf zijn 12 metingen uitgevoerd en in het Zuiderveen 7 metingen. In Figuur 2.3 staan de meetlocaties. In Tabel 2 staan de gemiddelde resultaten van de boorgatmetingen en in Figuur 2.5 staan de locaties.



Figuur 2.3 Detailkaart locatie boorgatmetingen bij Assendelft (links) en Nauerna (rechts).

De gevonden waarden voor de horizontale doorlatendheid varieerden tussen 0,002 m/d en 0,79 m/d, waarbij het opvallend was dat deze beide waarden in boorgaten op korte afstand van elkaar werden gemeten. Dit geeft aan dat de variatie tussen metingen zeer groot kan zijn. In Bijlage 2 staan de resultaten van de metingen.

Tabel 2 Gemiddelde waarde voor k_{sat} per proeflocatie.

Proeflocatie	k_{sat} (m/dag)		
	Gemiddeld	Mediaan	Log gemiddeld
Pilot melkveebedrijf te Assendelft	0.113	0.058	0.070
Polder Zuiderveen nabij Nauerna	0.149	0.073	0.060

De gemiddelde waarden waren hoger dan de mediaan of de log gemiddelde k-waarde. De K-waarden waren niet normaal verdeeld en daarom is voor het drainageadvies uitgegaan van de log-gemiddelde k-waarde van resp 7 cm per dag voor locatie Assendelft en 6 cm per dag voor locatie Nauerna. Dit resulteerde in een drainafstand voor beide locaties van 4 m.

2.2 Proefopzet

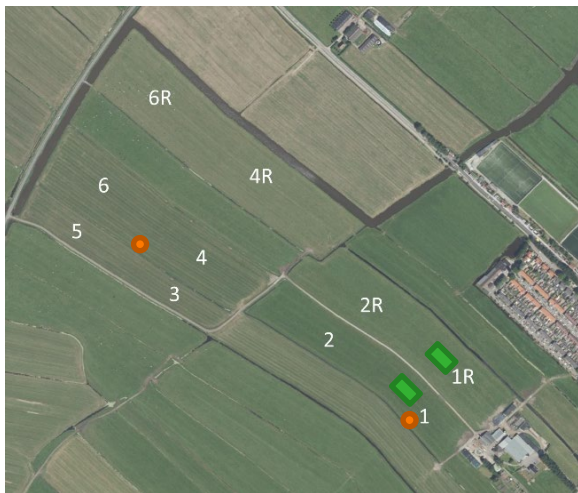
Pompgestuurde onderwaterdrains (drukdrains)

De drukdrains zijn aangelegd op de huiskavel van het pilotbedrijf (perceel 1-6) in Assendelft en in polder Zuiderveen (perceel 7). De drainage is uitgevoerd met een draineermachine op rupsbanden, die uitgerust was met een zogenaamde halve V-ploeg, voor sleufloos aanleggen van de drains. De drains zijn aangelegd in de lengterichting van de percelen. De drainafstand was 4 m en de draandiepte 70 cm beneden maaiveld. De percelen waren begreppeld, waarbij de oorspronkelijk bedoelde waterafvoerende werking in tact is gebleven. De greppelafstand bedroeg gemiddeld ongeveer 20 m. Bij de aanleg zijn ter hoogte van de greppels de drains aan weerszijden van de greppels aangelegd met de greppel in het midden van de drainafstand, dus op 2 m. Een foto van het aanleggen van de drains (Barth Drainage B.V.) staat in Figuur 2.4.



Figuur 2.4 Aanleg drains door Barth Drainage B.V. ten behoeve van het IPV-onderzoek naar de werking van drukdrains.

Een plattegrond van de proefpercelen op het pilotbedrijf (1-6) en in polder Zuiderveen (7) en de bijbehorende referentiepercelen staan in Figuur 2.5. De waterreservoirs (putten) om respectievelijk het infiltratie- en drainagepeil te beheren stonden op perceel 1, op de grens van perceel 4 en 6 en op perceel 7.



Figuur 2.5 Plattegrond proefpercelen. Links: drukdrainpercelen 1-6 en referentiepercelen 1R, 2R, 5R en 6R in Assendelft. Rechts: drukdrainperceel 7 en referentieperceel 7R in polder Zuiderveen. De waterreservoirs zijn aangegeven met oranje cirkels. In het linker deel van de figuur is met groene kaders de NOBV-proefvelden aangegeven.

Voor perceel 1-7 is onderscheid gemaakt tussen 'Huiskavel voor' (perceel 1 en 2), 'Huiskavel achter 1' (perceel 3-4), 'Huiskavel achter 2' (perceel 5-6) en 'Veldkavel' in polder Zuiderveen (perceel 7).

Het slootpeil was voor respectievelijk de percelen op 'Huiskavel voor' en 'Huiskavel achter (1 en 2)' gelijk, echter de drooglegging was voor de percelen verschillend door verschil in maaiveldhoogte (zie paragraaf 3.1). De drooglegging was op 'Huiskavel voor' 55-60 cm, op 'Huiskavel achter 1' 45-50 cm, op 'Huiskavel achter 2' 40-45 cm en op de 'Veldkavel' in polder Zuiderveen 40-45 cm. De waterreservoirs waren verbonden met het oppervlaktewater en met behulp van pompen kon actief geïnfilteerd en gedraineerd worden door de hoogte van de ontwateringsbasis in het waterreservoir aan te passen.

Greppelinfiltratie

In de polder Zuiderveen (Assendelft) zijn twee percelen ingericht met greppelinfiltratie, te weten een perceel met een bestaande greppelafstand van 12 m en een perceel met een bestaande greppelafstand van 24 m. De betreffende proefpercelen waren in tweeën gesplitst met op de zuidelijke helft greppelinfiltratie en op de noordelijke helft de controle met droogvallende greppels (alleen waterafvoer). Van het perceel met een greppelafstand van 12 m werd het infiltratie en controle deel wederom in tweeën gesplitst om een extra intensieve greppelafstand van ongeveer 6 m aan te leggen. Gezorgd is dat de lengte van het behandelingsobject minimaal de breedte van het perceel bedroeg.

De drooglegging bedroeg 20 cm voor zowel *Greppelinfiltratie* als de *Referentie*. Voor de aanvang van het onderzoek werden de greppels dermate diep gefreesd, dat deze bij *Greppelinfiltratie* over de gehele lengte watervoerend waren. De greppels op het referentiedeel voerden via buizen water af op een sloot met een lager peil.

Samengevat waren de behandelingen als volgt:

- Greppelafstand 24 m met infiltratie
- Greppelafstand 12 m met infiltratie
- Greppelafstand 6 m met infiltratie
- Greppelafstand 24 m zonder infiltratie
- Greppelafstand 12 m zonder infiltratie
- Greppelafstand 6 m zonder infiltratie

In Figuur 2.6 staan de proefpercelen met greppelafstanden en behandelingen aangegeven. Half juni 2020 was de proef operationeel en is gestart met het monitoren van de grondwaterstanden.



Figuur 2.6 Plattegrond proefpercelen polder Zuiderveen. Op de twee percelen met groene kaders lag de proef met greppelinfiltratie, met aan de noordkant de controleobjecten en de zuidkant de infiltratie objecten. Het westelijke perceel had een greppelafstand van 24 m en op het oostelijke perceel lagen de greppelafstanden van 6 en 12 m. Het perceel met het blauwe kader betrof het controleperceel van de drukdrains en op het perceel met het oranje kader lagen de drukdrains.

In Bijlage 3 staat een schematische plattegrond van proefperceel 8 met de greppelafstanden 6 en 12 m en proefperceel 9 met greppelafstand 24 m, inclusief de plaatsing van de peilbuizen.

Op de betreffende proefpercelen golden restricties voor weidevogelbeheer en dat betekende dat op z'n vroegst 15 juni gemaaid of geweid kon worden.

Samengevat bestond de proefopzet dus uit drie hoofdbehandelingen die met elkaar vergeleken werden, te weten *Referentie*, *Drukdrains* en *Greppelinfiltratie*.

2.3 Grondwaterstandsbeheer

Drukdrains

Om de grondwaterstand te verhogen werd het peil in het waterreservoir (put) 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. Op 'Huiskavel voor' perceel 1 en 2 en 'Veldkavel' perceel 7 werden in de winter (november-februari) de reservoirs dichtgezet en werd geen water via de drukdrains afgevoerd. Op 'Huiskavel achter' stonden in de winter de waterreservoirs open, waardoor via de drains water werd afgevoerd. In februari 2020 werd op 'Huiskavel achter' actief water uitgepompt om eerder het land op te kunnen voor het uitrijden van drijfmest.

De percelen 1-6 op het pilotbedrijf lagen achter de stal en waren vanuit de bedrijfsvoering gezien essentieel voor de voederwinning en het rondzetten van de beweiding. In het experimenteren met watermanagement bestond zodoende een spanningsveld tussen het behalen van de doelstelling van het onderzoek en het behoud van productie en bedrijfsrendement. Het sturen op de gewenste grondwaterstand en draagkracht gebeurde zo scherp mogelijk, echter wel met behoud van voldoende draagkracht van de graszode.

Na het in gebruik nemen van de drukdrains moest met de aansturing hiervan nog ervaring worden opgedaan en is aanvankelijk het aansturingsprotocol gebruikt, zoals dat in het onderzoek op KTC Zegveld werd toegepast met een streefpeil voor de grondwaterstand van 40 cm beneden maaiveld (Hoving et al., 2021). In 2019 is het streefpeil verder aangescherpt en verhoogd naar 30-35 cm beneden maaiveld en werd de grens opgezocht van juist een voldoende draagkracht van de graszode voor weiden en berijden.

Beslisriteria

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, gewasverdamming en de mate van kwel of wegzijging. Neerslag heeft de meest directe invloed en daarom is naast de actuele grondwaterstand ook de neerslagverwachting als beslis criterium gehanteerd. In Tabel 3 staat de werkwijze voor het aan- en afvoeren van water, zoals dat in het onderzoek op KTC Zegveld gehanteerd is. Voor de aanvoer is onderscheid gemaakt in twee standen en bij de afvoer werd het peil maximaal verlaagd tot 70 cm beneden maaiveld.

Tabel 3 Peilregime Drukdrains afhankelijk van de verwachte neerslag en de actuele grondwaterstand.

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

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

Gedurende het project is de aansturing van de pompen geautomatiseerd en kon met een webapplicatie de pompen op afstand aangestuurd worden (zie *Hardware* in onderstaande).

Operationaliteit

Op perceel 1 en 2 waren de drukdrains vanaf aanleg operationeel. Aanvankelijk werd het maximum- en minimum waterpeil met vlotters ingesteld en werden de pompen handmatig bediend. In het voorjaar van 2020 is hier een automatische voorziening voor aangebracht en konden de peilmarges en pompen op afstand worden ingesteld en bediend.

Op perceel 3-4 van 'Huiskavel achter 1' was vanaf begin augustus 2019 het systeem zodanig operationeel dat daadwerkelijk actief geïnfiltrerd kon worden. In 2020 was hiervan pas het effect te zien. Echter, door een te grote vlotteruitslag, waardoor het systeem te laat startte met infiltreren, werd de streefgrondwaterstand niet gehaald. De vlotteruitslag is aangepast, echter te laat om hier in de zomer van 2020 een verhogend effect van te zien. In 2021 werd uiteindelijk wel de streefgrondwaterstand gehaald.

Op perceel 5-6 'Huiskavel achter 2' was in 2018 en 2019 alleen op perceel 6 het effect van extra infiltratie te zien. In 2020 is door aanpassing van de waterreservoirs en pompen ook op perceel 5 het infiltreren gaan functioneren. Evenals op 'Huiskavel achter 1' werd aanvankelijk in 2020 door een te grote vlotteruitslag de streefgrondwaterstand niet gehaald.

Op de drukdrainpercelen 3-6 ('Huiskavel achter') duurde het relatief lang voordat de waterreservoirs, de pompen en de aansturing hiervan goed functioneerde. Vooral het infiltrerende effect van de drukdrains werd pas vanaf juni 2019 zichtbaar. Voor perceel 7 was dit vanaf half juli 2018 het geval.

Hardware en software

Het automatiseren van de aansturing van de pompen is verzorgd door H. de Vos Elektrotechniek Mijdrecht B.V. en de betonnen waterreservoirs zijn geplaatst door Windkracht Onderhoud en te Oostknollendam. Bij aanvang van het onderzoek werd het maximum- en minimum waterpeil in het reservoir met vlotters ingesteld (beheermarge) en werden de pompen handmatig bediend (op locatie). In het voorjaar van 2020 is

hier een automatische voorziening voor aangebracht en konden de beheermarges en pompen op afstand van een webpagina van De Vos Elektro worden ingesteld en bediend. Tevens werden de ingestelde peilen in de reservoirs op Huiskavel voor en de Veldkavel en de slootpeilen op deze locaties gedeeld met de webapplicatie Reverse drain van WLR (Hoving et al., 2021) dat inzicht gaf in de actuele en voorspelde bodemvochttoestand en grondwaterstand, zodat met de peilaansturing hier op geanticipeerd kon worden. In Figuur 2.7 staat een afbeelding van een waterreservoir waar de onderwaterdrains op waren aangesloten en met pompen het streefpeil voor de grondwaterstand kon worden gerealiseerd.



Figuur 2.7 Waterreservoir waar de onderwaterdrains op aangesloten waren en met pompen het streefpeil voor de grondwaterstand kon worden gerealiseerd. In de kast die op de put was gemonteerd bevond zich het besturingssysteem voor het instellen van de streefpeilen en het aan- en uitschakelen van de pompen voor draineren en infiltreren.

Greppelinfiltratie

De greppels werden jaarrond gevoed vanuit een hoog watersloot (drooglegging 20 cm) belendend aan de westkant van het perceel met een greppelafstand van 24 m. De greppels op het referentiedeel voerden via buizen water af op een sloot met een lager peil.

Aangezien op de betreffende proefpercelen restricties golden voor weidevogelbeheer, had een sterke vernatting in het winterhalfjaar geen nadelige consequenties voor het graslandgebruik. Bij een onvoldoende watertoevoer in het zomerhalfjaar kon de toevoer ondersteund worden met een plas-dras pomp. Hier is echter geen gebruik van gemaakt.

2.4 Waarnemingen

Grondwaterstanden

De grondwaterstanden werden wekelijks door WLD handmatig gemeten in een groot aantal peilbuizen verspreid over de behandelingen om de ruimtelijke variatie in de grondwaterstand mee te kunnen nemen in de vergelijking van de *Drukdrains* met de *Referentie*. De percelen waren begreppeld, waarbij de oorspronkelijk bedoelde waterafvoerende werking in tact is gebleven om bij relatief hoge grondwaterstanden overtollig water af te kunnen voeren. Meer detail over de plaatsing van de peilbuizen staat in Tabel 4. De peilbuizen waren geplaatst in drie of zes meetraaien in de lengterichting van een proefperceel afhankelijk van de perceelsbreedte. Op de percelen met *Drukdrains* lagen de peilbuizen op 2 m, 1 m en 0,5 m van

de drainbuis. In Bijlage 4 staat een schematisch overzicht van de plaatsing van de peilbuizen per proefperceel.

De grondwaterstanden werden gemeten ten opzichte van het maaiveld. De buizen waren niet gefundeerd en bewogen dus mee met het maaiveld. De interesse ging uit naar de werkelijke grondwaterstanden beneden maaiveld, omdat deze bepalend zijn voor de mate van zuurstofintreding (bodemdaling en CO₂-emissie) en de bodemvochttoestand van de bovengrond (draagkracht en grasgroei). 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.

Tabel 4 Perceelsbreedte, aantal meetraaien en aantal peilbuizen voor het meten van de grondwaterstand op 2 m, 1 m en 0,5 m van de drainbuis.

Perceel	Breedte (m)	Meetraaien (#)	Peilbuizen (#)			
			Totaal	2 m	1 m	0,5 m
<i>Drukdrains</i>						
1	85	6	12	6	4	2
2	90	6	12	6	4	2
3	50	3	9	6	3	0
4	106	6	18	12	6	0
5	60	3	9	6	3	0
6	120	6	18	12	6	0
7	120	6	18	6	6	6
<i>Referentie</i>						
1R	100	6	12	-	-	-
2R	120	6	12	-	-	-
4R	120	6	12	-	-	-
6R	120	6	12	-	-	-
7R	40	3	12	-	-	-

Maaiveldhoogte

In het voorjaar van 2019, 2020 en 2021 zijn door WEnR hoogtemetingen van het maaiveld uitgevoerd ter hoogte van de peilbuizen. De resultaten zijn gebruikt om een gemiddelde maaiveldhoogte per perceel te bepalen en de maaiveld daling in de tijd te kunnen volgen.

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 proefpercelen onderling te kunnen vergelijken. Aangezien de grondwaterbuizen niet gefundeerd waren, werd dus de zwel en krimp in respectievelijk de winter en de zomer buiten beschouwing gelaten. Deze kan tussen de behandelingen verschillen.

Slootpeilen

De slootpeilen zijn alleen gemeten op 'Huiskavel voor' (percelen 1-2) en 'Huiskavel achter' (Percelen 3-6) van het pilotbedrijf voor zowel de percelen met *Drukdrains* als de referentiepercelen. Op de percelen met *Drukdrains* werd het slootpeil gemeten ter hoogte van de waterreservoirs.

Draagkracht

Om het effect van *Drukdrains* en *Greppelinfiltratie* op draagkracht van de graszode vast te stellen zijn in 2020 met een penetrometer oriënterende draagkrachtmetingen uitgevoerd met een conusoppervlakte van 5,0 cm² tot een diepte van ongeveer 55 cm. De metingen werden verricht op de percelen met *Drukdrains*, *Greppelinfiltratie* en de *Referentie*, nabij de greppels en op de zogeheten akkers (gebruikelijke term in het veenweide) tussen de greppels. De metingen zijn op drie achtereenvolgende dagen uitgevoerd om te zien of behandelingen verschillende trends zouden laten zien in de verandering van draagkracht. Op 30 september,

1 en 2 oktober zijn metingen uitgevoerd bij een toenemende neerslag en daarmee een te verwachten verlaging van de draagkracht.

Botanische samenstelling

In de najaren van 2018-2021 is de botanische samenstelling van de graspercelen gemonitord. Hierbij is vooral vanuit landbouwkundig perspectief naar de voorkomende grassoorten en de dichtheid van de graszode gekeken. De resultaten waren vooral bedoeld om te monitoren in hoeverre het grasbestand van de proefpercelen zich ontwikkelde.

Bedrijfsvoering

Op het pilotbedrijf werd een logboek bijgehouden van het gebruik van de proefpercelen. De tijdstippen van bemesting, het gebruik (weiden, maaien) en de bijzonderheden voor wat betreft draagkracht en productiviteit werden vastgelegd. De gegevens worden gebruikt als aanvulling op de analyse van de grondwaterstanden, de uitvoering van het watermanagement en de gemeten draagkracht.

2.5 Neerslagoverschot

Voor de proeflocaties is het neerslagtekort (neerslag – verdamping) bepaald. Daarbij zijn de neerslagdata betrokken van het neerslagstation Assendelft (KNMI station 263) en de Makkinkverdamping (ETref) van het weerstation De Bilt (KNMI station 260). Het resultaat staat in Tabel 5. De negatieve getallen geven een tekort aan. De zomers van 2018-2020 waren relatief droog. In 2021 waren de maanden mei en juni relatief nat.

Tabel 5 *Neerslag – verdamping per maand en per jaar voor 2016-2020 gebaseerd op neerslag van neerslagstation Assendelft (KNMI station 263) en de Makkinkverdamping (ETref) van weerstation De Bilt (KNMI station 260).*

Maand	2018	2019	2020	2021
1	67	46	42	67
2	4	24	119	31
3	20	62	-9	3
4	8	-49	-70	-13
5	-72	-67	-101	11
6	-90	37	-27	14
7	-131	-84	10	-29
8	27	26	-8	-9
9	26	99	5	-29
10	24	130	156	
11	8	115	28	
12	88	69	157	
Totaal	-22	407	302	47

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^e en 28^e van de maand te middelen. Het protocol schrijft echter ook voor, dat de GLG en GHG over een reeks van tenminste acht weerjaren berekend moet worden. Met de kortere proefperiode van vijf jaar kon hier niet aan voldaan worden.

2.7 Schatting maaiveldddaling en broeikasgasemissie

Door 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 (CO₂) om zo voor Nederland de totale CO₂-emissie van veengronden in agrarisch gebruik te berekenen.

Door Akker *et al.* (2007, 2008) 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 krimpscheuren 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 Q₁₀ 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 Q₁₀-waarde van 3,0 – 5,6 en in het traject van 10 – 20 °C Q₁₀-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 Akker *et al.* (2007, 2008) omgezet naar relaties tussen CO₂-emissie en GLG, waarbij 1 mm maaiveldddaling gelijk is gesteld aan een CO₂-emissie van 2,26 ton CO₂·ha⁻¹.

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 CO₂ ha⁻¹ j⁻¹
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.

Voor het IPV-onderzoek is vergelijking (3) gebruikt voor veengronden met dun kleidek gebaseerd op de dataset met een dataset met veengronden met en zonder kleidek.

Voor de maaiveldaling is onderstaande vergelijking (4) uit Akker *et al.* (2007, 2008) gebruikt. Deze geldt eveneens voor veengronden zonder kleidek bepaald met een dataset met alleen de veengronden zonder kleidek:

$$y = 27,31 \text{ GLG} - 10,47; R^2 = 0,98 \quad (4)$$

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

Voor de lachgasemissie (N_2O) is de methodiek gebruikt zoals beschreven in Kuikman *et al.*, 2005. Daarbij wordt gerekend dat door de veenoxidatie niet alleen CO_2 vrijkomt, maar ook stikstof (N) mineraliseert, die voor ca 2% wordt omgezet in N_2O (Kroeze, 1994). De 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 N_2O (Kroeze, 1994). Gerekend is met een factor 265 om het broeikasgaseffect van N_2O om te zetten naar CO_2 -equivalenten (IPCC Fifth Assessment Report, 2014 (AR5)). Uiteindelijk is het bijkomende broeikasgeffect in CO_2 -eq van de N_2O door de stikstofmineralisatie 11,36% van de CO_2 -emissie door veenoxidatie.

Volgens Van den Pol-van Dasselaar (1998) is methaanemissie (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 CH_4 -emissie), maar ook uit het grasland kwam in de zomer 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 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.

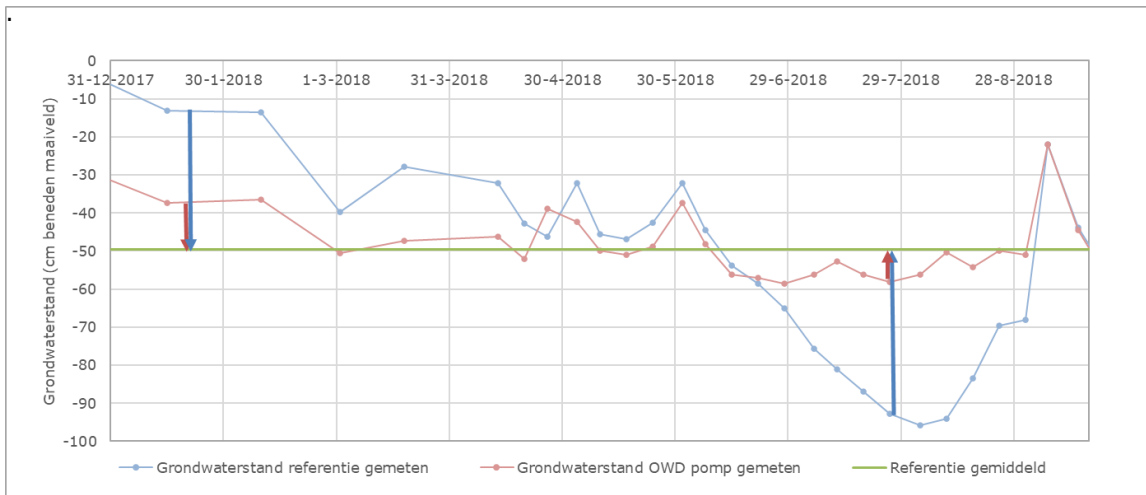
In Motelica *et al.* (2020) zijn verschillende methoden vergeleken om broeikasgasemissies op veenweidegrond te kwantificeren. Een alternatief voor de relaties van Akker *et al.* (2007, 2008) is de methode van Jurasinski (2016), welke gebaseerd is op een verandering van de gemiddelde grondwaterstand. Volgens deze methode wordt de verandering van CO_2 -, N_2O - en 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 Akker (2007, 2008) kwantificeren dit verband tussen een hogere GLG en een verminderde maaiveldaling en CO_2 -emissie. De methode van Jurasinski is daarom niet gehanteerd.

2.8 Statistische analyse grondwaterstanden

Het verloop van de grondwaterstanden van de onderzoeksobjecten is statistisch geanalyseerd om het effect van de behandelingen *Drukdrains* of *Greppelinfiltratie* op de grondwaterstand ten opzichte van de *Referentie*

te kunnen toetsen en te kwantificeren. Hierbij zijn voor *Drukdrains* alleen de peilbuizen midden tussen de drains (2 m van de drainbuis) in de analyse meegenomen, om het resultaat van de analyse te kunnen vergelijken met de analyse resultaten van het onderzoek op KTC Zegveld uit (Hoving et al., 2021).

In het vergelijk tussen de *Behandeling* en de *Referentie* 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 *Behandeling* 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 *Behandeling* en het normatieve niveau (Delta BEH) zijn paarsgewijs vergeleken. In Figuur 2.8 is geïllustreerd hoe de verschillen voor twee meetmomenten paarsgewijs zijn vergeleken ten opzichte van het gemiddelde niveau van de *Referentie*.



Figuur 2.8 Illustratie paarsgewijze vergelijking van grondwaterstanden van de *Referentie* per meetdatum (blauwe pijlen; Delta REF) en *Behandeling* (rode pijlen; Delta BEH, *Drukdrains* of *Greppelinfiltratie*) 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 19th 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^e-orde polynoom relatie:

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

Waarin:

Y_{ijk} = Grondwaterstand van de *Behandeling* 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.

$\epsilon_{ij}, \underline{\epsilon}_{ijk}$ = Respectievelijk residuele effecten voor de datum binnen perceel en de datum binnen perceel binnen het object.

Het verschil tussen objecten met en zonder *Behandeling* is verklaard met de parameter b_1 , de regressie coëfficiënt van de grondwaterstand voor de behandeling ten opzichte van de *Referentie*. Des te meer de regressiecoëfficiënt afwijkt van de waarde 1, des te groter het effect van de behandeling. 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.

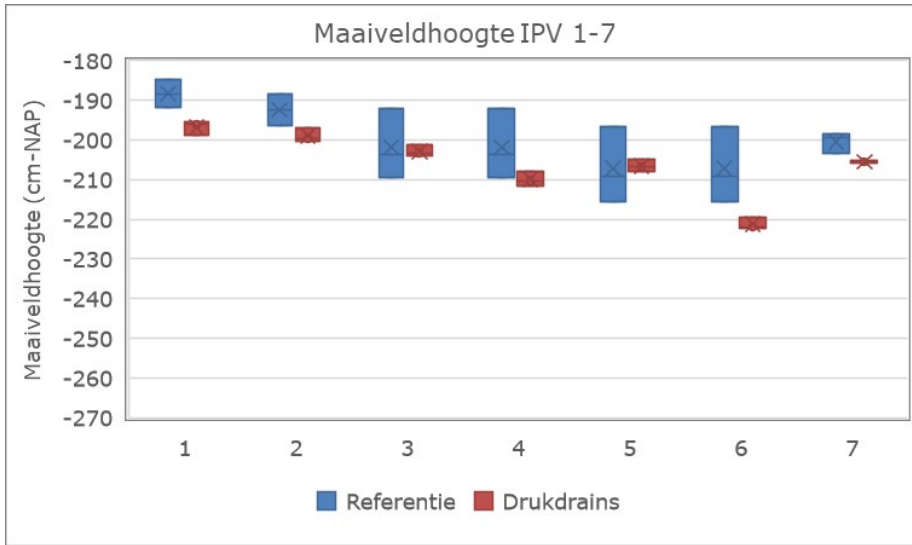
In de analyse is voor de *Behandeling* de verandering van de grondwaterstand ten opzichte van een voorgaande meting als correctiefactor meegenomen, omdat hier bij neerslag sneller grondwaterstandspieken ontstonden door een reeds hogere grondwaterstand dan de *Referentie* (kleinere buffer voor het bergen 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 BEH, 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 zijn beschouwd in relatie tot de gemiddelde maaiveldhoogte van het betreffende proefperceel. In het onderzoek naar de toepassing van de *Drukdrains* lagen de *Referentie* en de *Drukdrains* op aparte percelen. De gemiddelde maaiveldhoogtes en de verdeling van de meetresultaten gemeten in het voorjaar van 2019-2021 staan in Figuur 3.1.



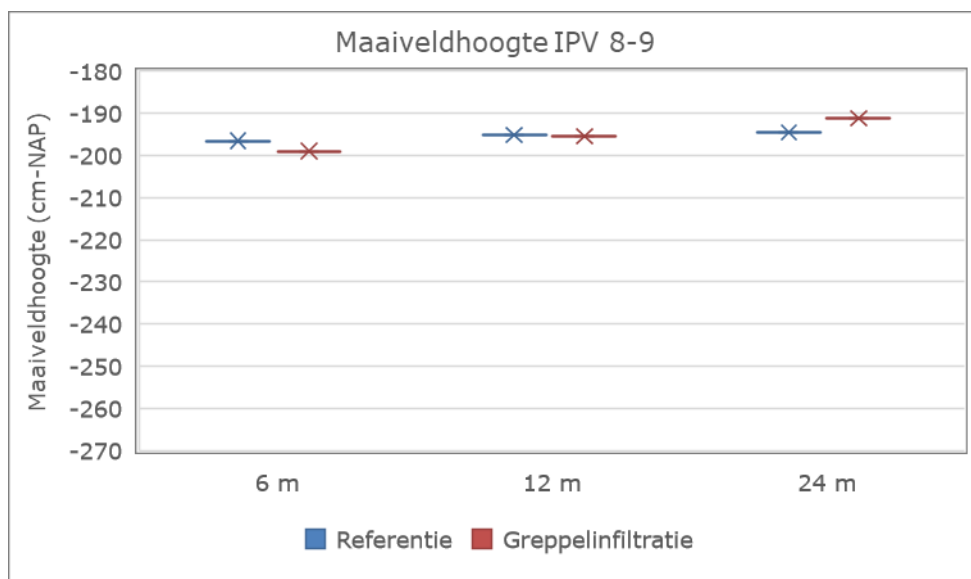
Figuur 3.1 Maaiveldhoogtes (cm) per perceel (1-7) gemeten ten opzichte van NAP in de vroege voorjaren van 2019-2021. De weergegeven kaders betreffen de verdeling van de meetresultaten en het gemiddelde.

In Figuur 3.1 is te zien dat het maaiveld van de *Referentie* gemiddeld 5-10 cm hoger lag dan dat van de *Drukdrains* uitgezonderd perceel 3 en 5. Voor perceel 3 was de gemiddelde maaiveldhoogte gelijk aan die van de *Referentie* en voor perceel 5 was de *Referentie* enkele centimeters hoger dan het gemiddelde maaiveldniveau van de *Drukdrains*. Opvalt dat de spreiding tussen de metingen van de drie voorjaren voor alle percelen bij *Drukdrains* aanmerkelijk kleiner was dan bij de *Referentie*.

Tabel 6 Gemiddelde maaiveldhoogte (cm-NAP) *Referentie* en *Drukdrains* per perceel 2019-2021. Voor *Drukdrains* zijn de drainafstanden van 2, 1 en 0,5 m onderscheiden.

Perceel	Referentie	Drukdrains			
		Alle peilbuizen	2 m	1 m	0,5 m
1	-187	-197	-195	-203	-189
2	-191	-199	-196	-207	-190
3	-202	-202	-197	-213	
4	-197	-209	-206	-216	
5	-206	-206	-205	-208	
6	-202	-221	-218	-226	
7	-200	-205	-203	-206	-208

In het onderzoek naar de toepassing van de *Greppelinfiltratie* lagen de *Referentie* en de *Greppelinfiltratie* per greppelafstand op hetzelfde perceel. De gemiddelde maaiveldhoogtes gemeten in het voorjaar van 2021 staan in Figuur 3.2.



Figuur 3.2 Maaiveldhoogtes (cm) perceel 8-9 per greppelafstand (6, 12, 24 m) gemeten ten opzichte van NAP in het vroege voorjaar van 2021.

De verschillen van de *Referentie* en de *Greppelinfiltratie* ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte per drainafstand staan in Tabel 7.

Tabel 7 Gemiddeld verschil maaiveldhoogte tussen de *Referentie* en de *Greppelinfiltratie* per greppelafstand (cm).

Greppelafstand	Referentie	Greppelinfiltratie
6 m	-1,2	1,2
12 m	0,2	0,2
24 m	1,7	-1,7

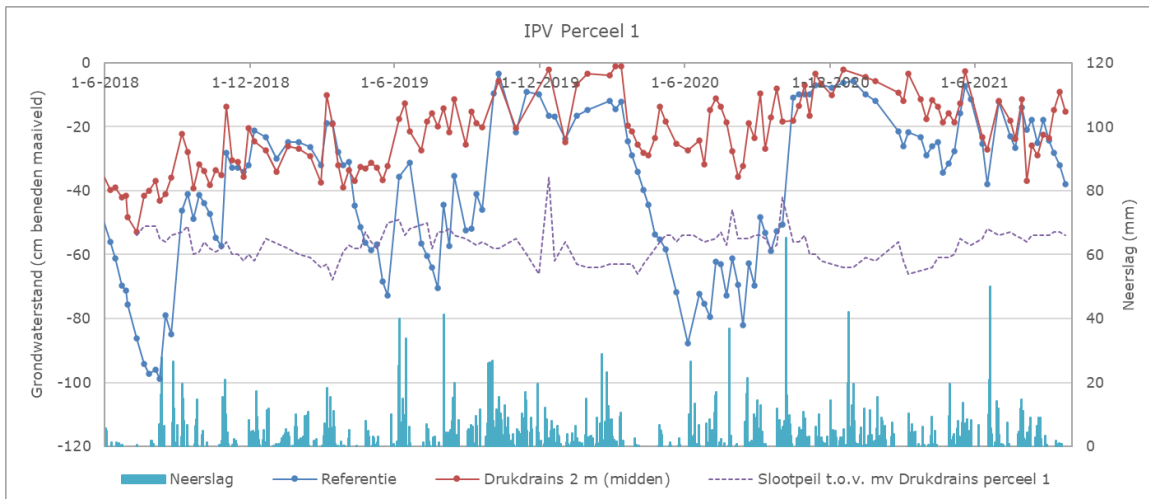
In de volgende paragraaf zijn de grondwaterstanden van de *Referentie* versus de *Drukdrains* per perceel beschreven en gepresenteerd ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van het betreffende perceel en voor *Greppelinfiltratie* zijn de grondwaterstanden van de *Referentie* versus *Greppelinfiltratie* binnen een perceel per greppelafstand beschreven en gepresenteerd ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte.

De slootpeilen werden op 'Huiskavel voor' perceel 1 en 'Huiskavel achter 2' perceel 6 gemeten ter hoogte van de waterreservoirs en uitgedrukt ten opzichte van het maaiveld van de betreffende percelen waar de waterreservoir stonden. Voor 'Veldkavel' perceel 7, 8 en 9 waren geen slootpeilen beschikbaar.

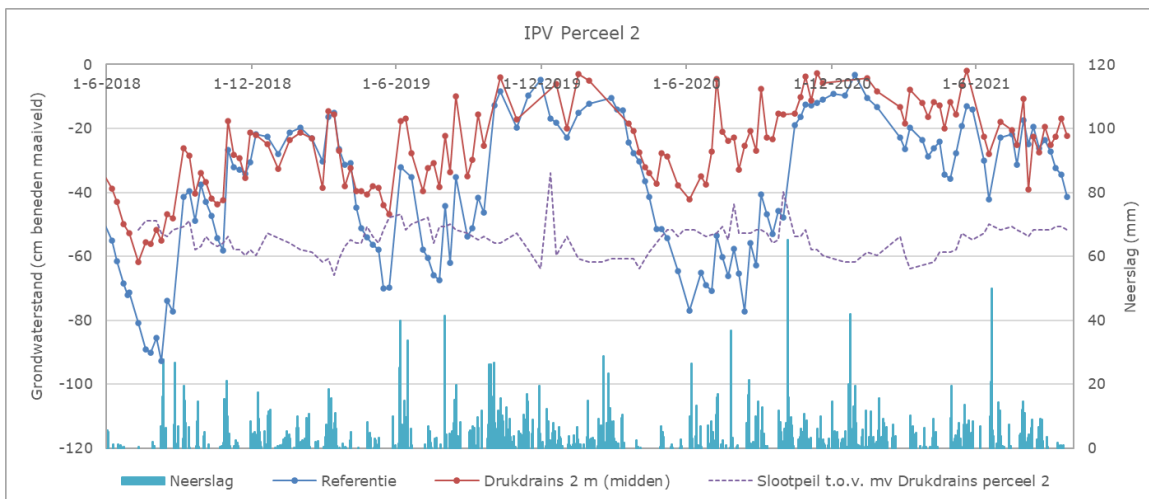
3.2 Grondwaterstanden

3.2.1 Drukdrains

Het verloop van de grondwaterstanden voor *Drukdrains* en de *Referentie* van 'Huiskavel voor' perceel 1 en 2, van 'Huiskavel achter 1' perceel 3-4, 'Huiskavel achter 2' perceel 5-6 en 'Veldkavel' perceel 7, staan respectievelijk in Figuur 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 en 3.7. In Bijlage 5 staan dezelfde grafieken uitvergroot. Voor de *Drukdrains* zijn de grondwaterstanden midden tussen de drains op 2 m weergegeven.



Figuur 3.3 Grondwaterstandsverloop Referentie (perceel 1R) en Drukdrains (perceel 1, midden tussen drains), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) 'Huiskavel voor' 2018-2021. Het slootpeil is weergegeven ten opzicht van het maaiveld (mv) van perceel 1 met Drukdrains.

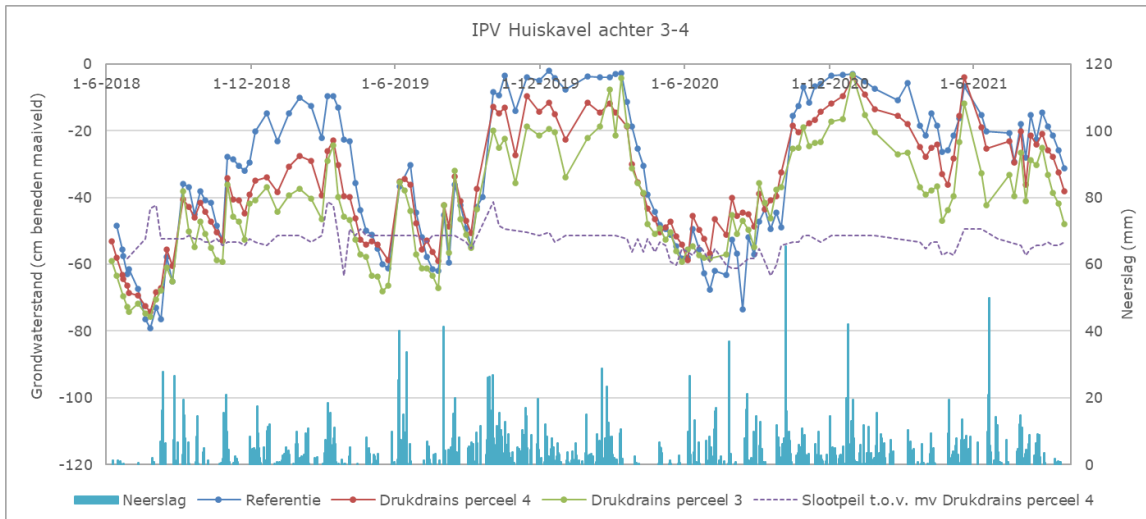


Figuur 3.4 Grondwaterstandsverloop Referentie (perceel 2R) en Drukdrains (perceel 2, midden tussen drains), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) 'Huiskavel voor' 2018-2021. Het slootpeil is weergegeven ten opzicht van het maaiveld (mv) van perceel 2 met Drukdrains.

Op perceel 1 en 2 van 'Huiskavel voor' hadden de *Drukdrains* in 2018-2020 een zeer duidelijk verhogend effect op de zomergrondwaterstand ten opzichte van de *Referentie*. Het groeiseizoen van 2018 was zeer droog en in deze zomer werden grote verschillen in grondwaterstanden tussen de *Referentie* en de *Drukdrains* waargenomen, ondanks dat de streefgrondwaterstand op 40 cm -mv was ingesteld. Na 2018 is de streefgrondwaterstand op 30 – 35 cm -mv ingesteld. Begin 2019 was het neerslagoverschot in de winter relatief laag, waardoor de wintergrondwaterstanden minder hoog stegen dan in de jaren daarna. Daarbij waren de grondwaterstanden van de *Drukdrains* en *Referentie* gelijk. De zomers van 2019 en 2020 waren eveneens relatief droog, maar minder droog dan in 2018, waardoor de grondwaterstanden van de referentiepercelen minder ver daalden. In de winters van 2019 en 2020 lagen de grondwaterstanden bij de *Drukdrains* hoger dan die van de *Referentie*, omdat niet actief gedraineerd werd. In de zomer van 2021 was het neerslagtekort aanmerkelijk lager dan in de eerst drie jaar, waardoor de grondwaterstanden tussen de *Drukdrains* en de *Referentie* veel minder uiteenliepen.

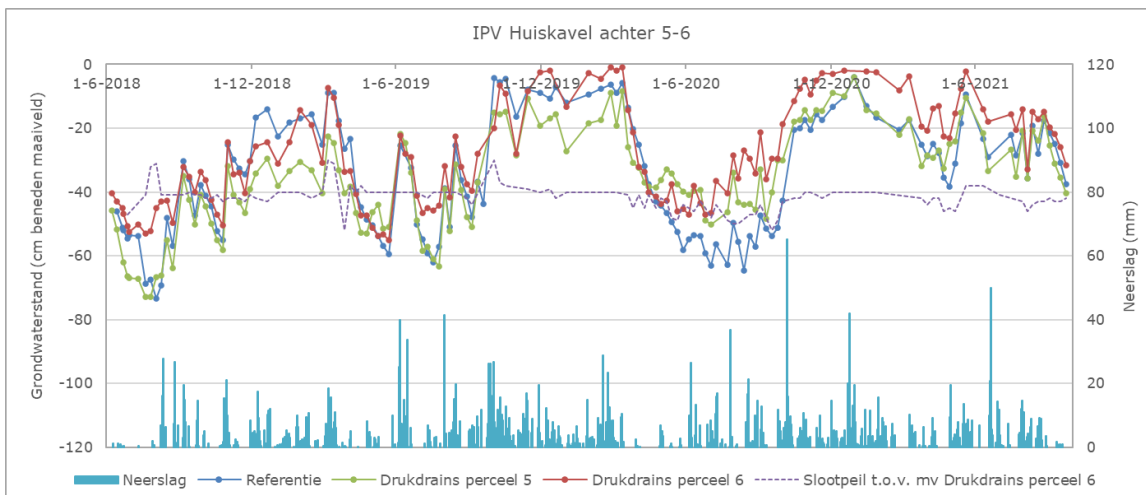
Het streefpeil voor de grondwaterstand van 35 cm beneden maaiveld in 2019-2021 werd beter benaderd dan de streefgrondwaterstand van 40 cm beneden maaiveld in 2018, door minder droge omstandigheden en scherper sturen op de streefgrondwaterstand. Tussen perceel 1 en 2 was vooral in de zomerperioden van

2018-2020 voor de *Drukdrains* een niveauverschil in grondwaterstanden te zien. Op perceel 1 was de infiltratie beter dan op perceel 2, mogelijk door een betere horizontale doorlatendheid van de bodem.



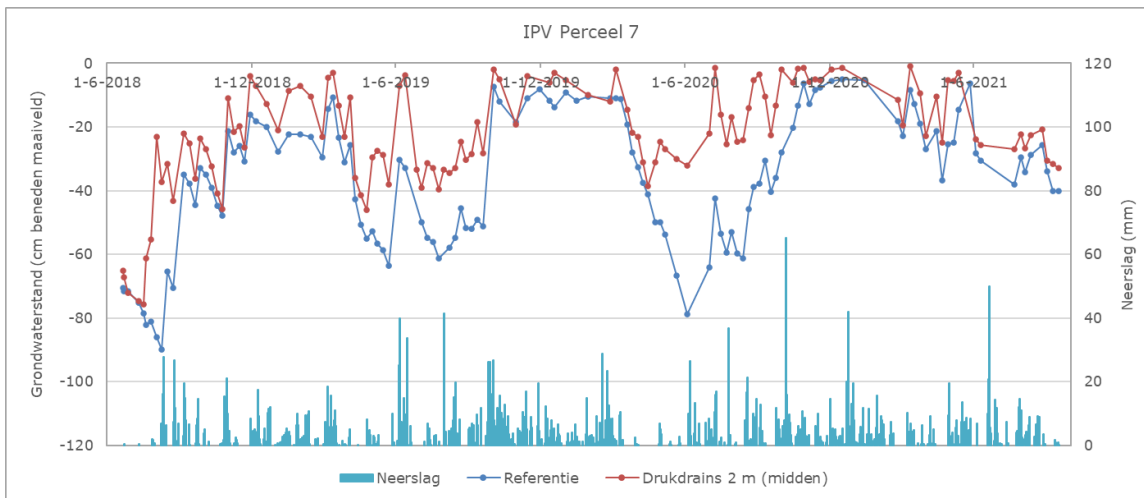
Figuur 3.5 Grondwaterstandsverloop Referentie (perceel 4R) en *Drukdrains* (perceel 3-4, midden tussen drains), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) 'Huiskavel achter 1' 2018-2021. Het slootpeil is weergegeven ten opzicht van het maaiveld (mv) van perceel 4 met *Drukdrains*.

Op perceel 3-4 van 'Huiskavel achter 1' waren in de winter van 2018 en in het vroege voorjaar van 2019 de grondwaterstanden bij *Drukdrains* aanmerkelijk lager dan van de *Referentie*. Dit betekent dat de drains extra water afvoerden. In het groeiseizoen van 2018 werd alleen passief geïnfiltrerd, omdat het waterreservoir wel verbonden was met de sloot, maar de pompen nog niet functioneerden. Dit verhoogde de grondwaterstand in de droge periode van 2018 met slechts enkele centimeters. Pas vanaf begin augustus 2019 was het systeem zodanig operationeel dat ook actief geïnfiltrerd kon worden en in 2020 was hiervan het effect te zien. Echter, door een te grote vlotteruitslag, waardoor het systeem te laat startte met infiltreren, werd de streefgrondwaterstand niet gehaald. De vlotteruitslag werd daarna aangepast, echter te laat om hier in de zomer van 2020 een verhogend effect van te zien. In 2021 werd uiteindelijk wel de streefgrondwaterstand gehaald. In februari 2020 is actief gedraineerd om eerder het land op te kunnen voor het uitrijden van drijfmest. Evenals voor perceel 1 en 2 waren ook voor perceel 3 en 4 de effecten op de grondwaterstand tussen de percelen onderling niet gelijk voor *Drukdrains*.



Figuur 3.6 Grondwaterstandsverloop Referentie (perceel 6R) en *Drukdrains* (perceel 5-6, midden tussen drains), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) 'Huiskavel achter 2' 2018-2021. Het slootpeil is weergegeven ten opzicht van het maaiveld (mv) van perceel 6 met *Drukdrains*.

Op 'Huiskavel achter 2' was in 2018 en 2019 alleen op perceel 6 het effect van extra infiltratie te zien. In 2020 is door aanpassing van de waterreservoirs en pompen ook op perceel 5 het infiltreren gaan functioneren. Evenals op 'Huiskavel achter 1' werd door een te grote vlotteruitslag het streefpeil toen niet gehaald. Ook op perceel 3-4 is in februari 2020 actief gedraineerd om eerder het land op te kunnen voor het uitrijden van drijfmest.

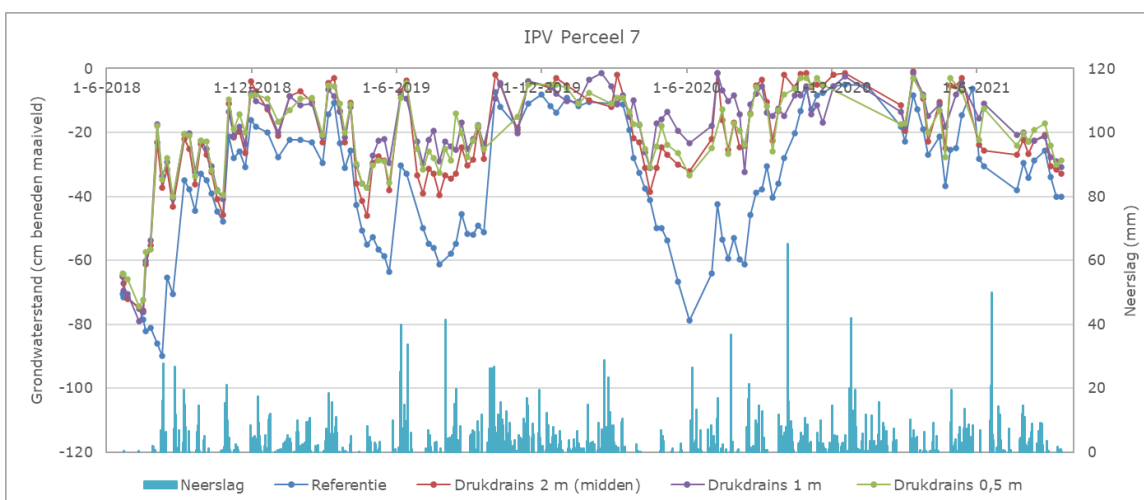


Figuur 3.7 Grondwaterstandsverloop Referentie (perceel 7R) en Drukdrains (perceel 7, midden tussen drains), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) 'Veldkavel' 2018-2021.

In polder Zuidervenen werd de zomergrondwaterstand bij *Drukdrains* aanzienlijk verhoogd ten opzichte van de *Referentie*. In 2018 bedroeg het maximale verschil met de referentiesituatie ongeveer 50 cm, ondanks dat het systeem pas eind juli functioneerde. In 2019 was dit verschil ongeveer 20 cm en in 2020 wederom 50 cm. Vanaf begin juni 2020 was de effectiviteit van de aansturing aanzienlijk verbeterd en kon vanaf dat moment het grondwater op een hoger niveau van 20-25 cm gehouden worden. In 2021 was het verschil tussen de *Drukdrains* en de *Referentie* relatief klein door een neerslagoverschot in mei-juni en een relatief gering neerslagtekort in juli-september (zie paragraaf 2.5).

Metingen op 1 en 0,5 m van de drains

Naast de metingen tussen de drains op 2 m zijn metingen verricht op 1 en 0,5 m van de drains (zie paragraaf 2.4 Tabel 4). De metingen op 0,5 m waren beperkt tot perceel 1, 2 en 7. Alleen voor Perceel 7 was het aantal peilbuizen voor de afstanden 2, 1 en 0,5 gelijk en daarmee het beste onderling vergelijkbaar. In Figuur 3.8 staan de resultaten van Perceel 7. In Bijlage 6 staan de resultaten voor perceel 1-6 in figuren weergegeven. In de figuren staan de grondwaterstanden voor de verschillende drainafstanden ten opzichte van het maaiveld.



Figuur 3.8 Grondwaterstandsverloop Referentie en Drukdrains (op 2, 1 en 0,5 m van de drain) Perceel 7 'Veldkavel' (2018-2021).

De metingen op 1 en 0,5 m van de drain lieten in het algemeen een versterkte infiltrerende en drainerende werking zien, ten opzichte van de metingen tussen de drains. De mate waarin en de relatie tussen het effect en de afstand tot de drain verschilde echter tussen de percelen. In het onderstaande staan de bevindingen per perceel, waarbij opgemerkt wordt dat de metingen op 0,5 m van de drain een gemiddelde betrof van slechts twee peilbuizen.

- Perceel 1 De resultaten waren redelijk vergelijkbaar voor de drie afstanden van de drain, met alleen in de winter van 2020 lagere grondwaterstanden voor 0,5 m.
- Perceel 2 De nivellering van de grondwaterstanden ('s winters lager en 's zomers hoger) was op een 0,5 m geringer dan op 2 m van de drain en op 1 m sterker dan op 2 m van de drain.
- Perceel 4 De metingen op 1 m van de drain lieten vooral extra drainage in de winter en een geringe extra infiltratie in de zomer zien.
- Perceel 6 De metingen op 1 m van de drain lieten zowel extra drainage in de winter als extra infiltratie in de zomer zien.
- Perceel 7 Vooral in de zomer van 2019 was de infiltrerende werking groter, ten opzichte van de metingen tussen de drains. De drainerende werking in de winter was voor de drie afstanden tot de drain ongeveer gelijk.

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. Voor de drainbehandelingen is uitgegaan van de metingen midden tussen de drains (2 m). De waarden zijn uitgedrukt ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte, zoals die in Tabel 6 staan. De GXG-waarden staan Tabel 8.

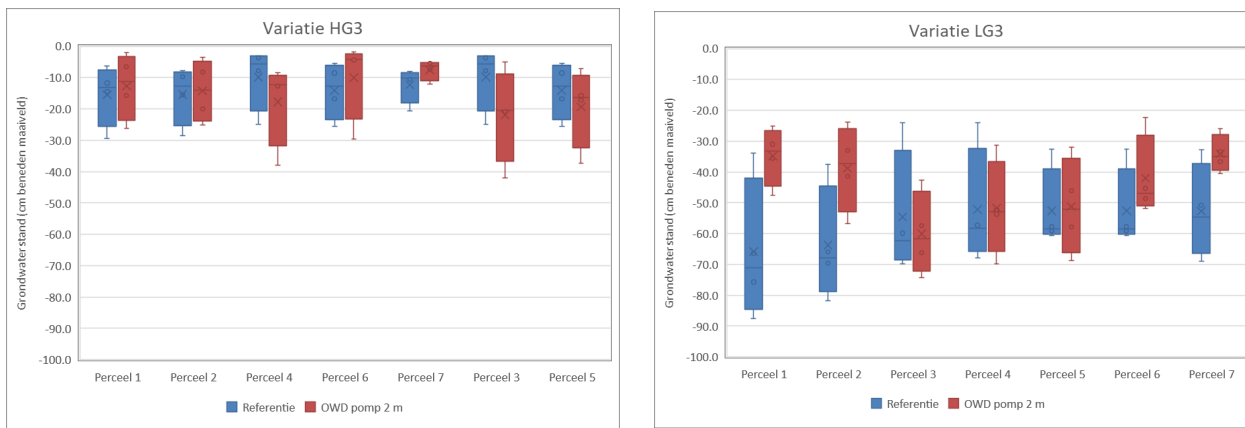
Tabel 8 GHG en GLG per proefperceel (1-7) voor de Referentie en Drukdrains (cm beneden maaiveld).

Behandeling	1	2	3	4	5	6	7 ¹⁾
<i>GHG</i>							
Referentie	15	15	10	10	12	14	12
Drukdrains	13	14	22	18	20	10	8
<i>GLG</i>							
Referentie	66	64	53	52	51	53	53
Drukdrains	35	39	54	52	53	42	34

¹⁾ GLG voor perceel 7 berekend vanaf 3 augustus 2018, nadat infiltratie mogelijk was.

Voor perceel 1, 2 en 7 waren de GLG 's voor *Drukdrains* beduidend hoger dan die voor de *Referentie*. Voor perceel 3-6 waren de GLG's voor *Drukdrains* en de *Referentie* praktisch gelijk. Dit had vooral te maken met de lange aanloop voordat de waterreservoirs, de pompen en de aansturing hiervan op 'Huiskavel achter 1 en 2' functioneerden. Het aantal metingen in de wintermaanden was relatief gering om de GHG betrouwbaar te bepalen, maar de resultaten geven wel een impressie. *Drukdrains* hadden op perceel 3-5 een verlagend effect op de GHG, omdat op 'Huiskavel achter' de waterreservoirs in de winter open stonden, waardoor via de drains water werd afgevoerd. Op 'Huiskavel voor' perceel 1 en 2 en 'Veldkavel' perceel 7 was dit niet het geval, omdat hier in de winter de reservoirs dicht stonden en geen water via de drukdrains werd afgevoerd.

De variatie in respectievelijk de laagste grondwaterstanden en GLG en de hoogste grondwaterstanden en GHG staan in Figuur 3.9 voor de *Referentie* en de *Drukdrains* inclusief de kwartielwaarden en uiterste waarden. De GLG 's zijn gebruikt voor het schatten van de maaiveldvaling en de broeikasgasemissie (zie paragraaf 3.6).



Figuur 3.9 De variatie in de HG3 (links) en LG3 (rechts) voor perceel 1-7, voor de Referentie en Drukdrains (2019-2021). 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.

Statistische analyse

Voor percelen 1, 2, 4, 6 en 7 zijn de grondwaterstanden statistisch geanalyseerd en hieruit bleek dat Delta REF en Delta OWD voor *Drukdrains* zich volgens een 2^e orde polynoom tot elkaar verhielden. In perioden met een neerslagtekort (veelal in het zomerhalfjaar) hadden *Drukdrains* een extra verhogend effect op de grondwaterstand ten opzichte van de *Referentie*. De resultaten van de statistische analyse staan in Tabel 9.

De lineaire parameter beschrijft de verandering in de grondwaterstand voor *Drukdrains* ten opzichte van een verandering in de grondwaterstand van de *Referentie* rondom het (genormaliseerde) gemiddelde niveau van de *Referentie* (oftewel de raaklijn van de curve-vormige relatie). Voor *Drukdrains* geeft de kwadratische term uit de polynoomfunctie de extra afwijking weer van de grondwaterstand in het zomerhalfjaar ten opzichte van de *Referentie*.

Voor *Drukdrains* waren de lineaire parameters van de percelen significant verschillend van 1. Dit betekent dat *Drukdrains* voor een verhoging van de gemiddelde grondwaterstand zorgden ten opzichte van de *Referentie*. Des te kleiner de waarde des te groter het effect. De significante verschillen tussen de lineaire parameters van de proefpercelen aangegeven. Op perceel 1 functioneerden de *Drukdrains* significant beter dan de overige percelen. Op de andere percelen hebben de aanloopproblemen met het functioneren van het drukdrainsysteem de statistische verschillen met de *Referentie* verkleind. Dit was vooral voor perceel 7 het geval, al functioneerde het systeem al vanaf eind juli 2018. Voor de eerste vijf grondwaterstandsmetingen was er echter geen verschil tussen de *Drukdrains* en de *Referentie*. De kwadratische term was voor de percelen gelijk en dat betekent dat in verhouding het extra infiltratie effect in de zomer voor alle percelen gelijk was.

Tabel 9 Analyse Drukdrains met waarden voor de lineaire parameter en intercept inclusief paarsgewijze significantie en significant verschil van respectievelijk 1 en 0 per proefperceel. Intercept genormaliseerd betreft het intercept ten opzichte van de gemiddeld ongedraineerde referentiesituatie.

Perceel	Lineaire parameter			Kwadratische term	Intercept				
	Waarde	Paarsgewijze significantie	Significant verschillend van 1		Drukdrains gemiddeld	Referentie gemiddeld	Intercept genormaliseerd	Paarsgewijze significantie	Significant verschillend van 0
Perceel 1	0.325	a	*	0.006075	-25.0	-40.1	15.1	a	*
Perceel 2	0.623	b	*	0.006075	-27.3	-39.2	11.8	ab	*
Perceel 4	0.662	bc	*	0.006075	-39.2	-33.2	-6.0	c	ns
Perceel 6	0.663	bc	*	0.006075	-29.1	-34.4	5.2	b	ns
Perceel 7	0.784	cd	*	0.006075	-24.8	-36.3	11.4	ab	*

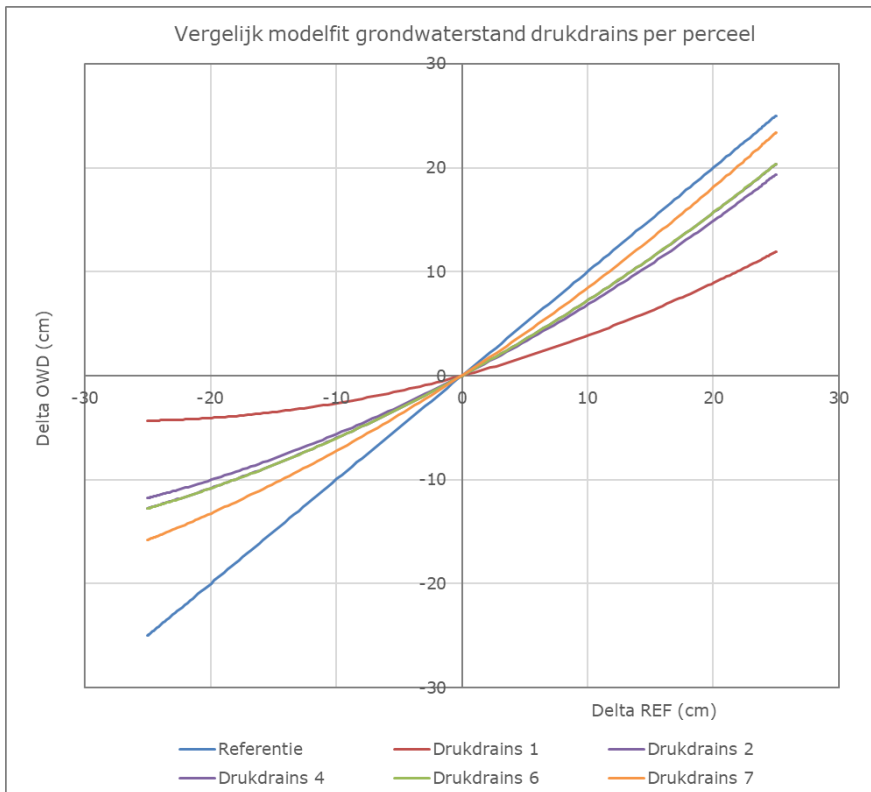
Een verandering van de intercept betekent dat het gemiddelde niveau van de grondwaterstand verschuift. Dit kan veroorzaakt worden door verschil in maaiveldhoogte en/of door een effect van de onderwaterdrainbehandeling. Het verschil tussen de gemiddelde grondwaterstand van de *Referentie* en de *Drukdrains*, zoals die uit de statistische analyse per proefperceel zijn berekend (Intercept genormaliseerd in Tabel 9), is gecorrigeerd met de verschillen tussen de maaiveldhoogtes tussen de behandelingen uit Tabel 6. De uiteindelijke verschillen staan in Tabel 10.

Tabel 10 *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	Intercept genormaliseerd (cm)	Verskil maaiveld met Referentie (cm)	Netto verschil in gemiddelde grondwaterstand (cm)
Perceel 1	15,1	-10,6	4,5
Perceel 2	11,8	-8,1	3,7
Perceel 4	-6,0	-12,9	-18,9
Perceel 6	5,2	-19,7	-14,5
Perceel 7	11,4	-5,0	6,4

Het netto verschil tussen de gemiddelde grondwaterstand voor *Drukdrains* en de *Referentie* was op perceel 1, 2, en 7 kleiner en op perceel 4 en 6 aanmerkelijk groter door het verschil in maaiveldhoogte tussen de drukdrain- en referentiepercelen. Alleen op perceel 4 werd dit veroorzaakt doordat in verhouding de extra drainage groter was dan de extra infiltratie. Dit was vooral het gevolg van de aanloopproblemen met de aansturing van het drukdrainsysteem.

Om de effecten van de drainbehandelingen, op basis van de relaties uit de statistische analyse, in beeld te brengen, staan in Figuur 3.10 per perceel de gemodelleerde grondwaterstanden voor Delta REF en Delta OWD voor *Drukdrains*. Het modelbereik voor Delta Ref en Delta OWD is op +25 cm tot -25 cm gesteld. 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 kwadratisch term tot uitdrukking. In Bijlage 7 staan figuren met per perceel de gemeten grondwaterstanden en de modelfit.



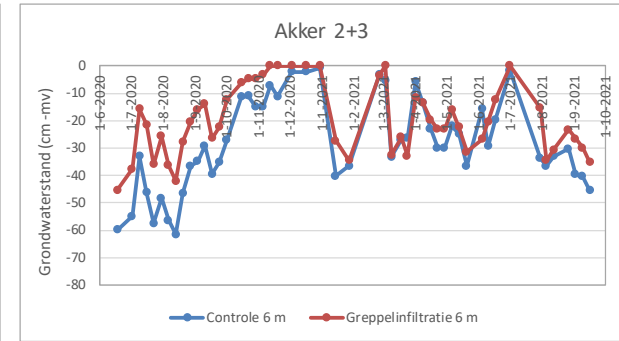
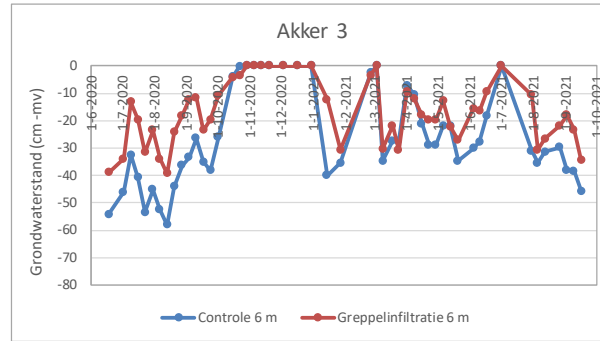
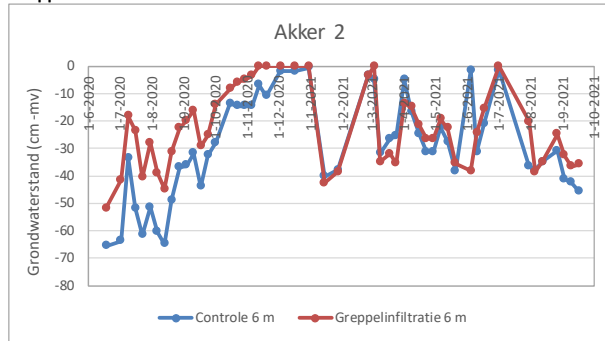
Figuur 3.10 Delta REF uitgezet tegen Delta OWD ter illustratie van de gemodelleerde verschillen (lineaire parameter en kwadratische term, exclusief intercept) tussen Drukdrains (OWD-pomp) en de Referentie voor proefperceel 1, 2, 4, 6 en 7. Het modelbereik voor Delta Ref en Delta OWD is gesteld op +25 cm tot -25 cm. Extrapoleren met waarden > 25 cm voor Delta Ref geeft risico op onbetrouwbare resultaten.

3.2.2 Greppelinfiltratie

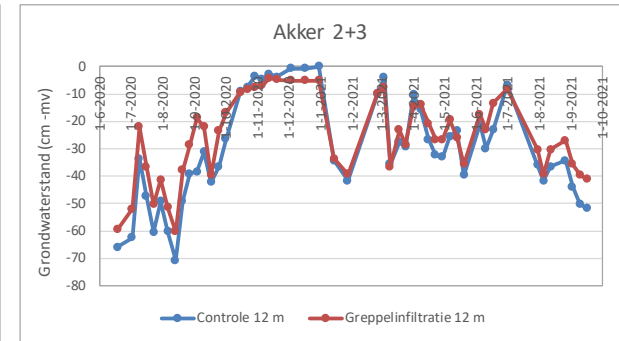
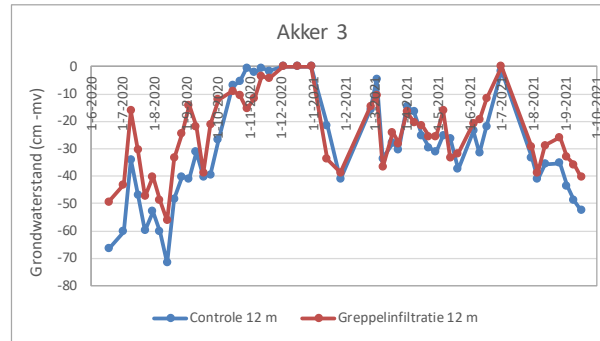
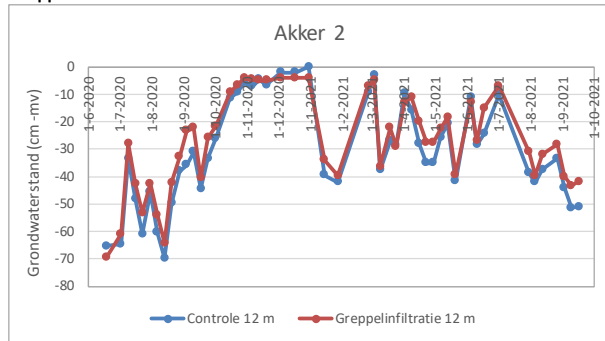
In Figuur 3.11 staan de grondwaterstanden per greppelafstand met een uitsplitsing over akkers (2 en 3) en een gemiddelde over deze akkers. Dit onderscheid is gemaakt omdat na de start van het onderzoek in 2020 bij een greppelafstand van 12 m op akker 2 de infiltratie veel minder goed functioneerde dan op akker 3. De oorzaak bleek vervuiling van greppels. Na het verwijderen hiervan (in augustus) bleek de werking te verbeteren en die van akker 3 te benaderen.

In Bijlage 8 staat het verloop van de grondwaterstanden gemeten op een kwart van de greppelafstand weergegeven voor akker 2 en 3 van greppelafstand 12 m en akker 2 van greppelafstand 24 m. Voor akker 2 bij greppelafstand 12 m was voor de metingen tot juli wel een verschil tussen de *Referentie* en de *Greppelinfiltratie* te zien, in tegenstelling tot de metingen op de helft van de akker. Voor akker 3 bij *Greppelafstand* 12 m waren de metingen op een kwart en de helft van de akker overeenkomstig. Voor de greppelafstand van 24 m waren de verschillen in grondwaterstanden tussen de *Referentie* en de *Greppelinfiltratie* in 2020 iets groter dan op de helft van de akker.

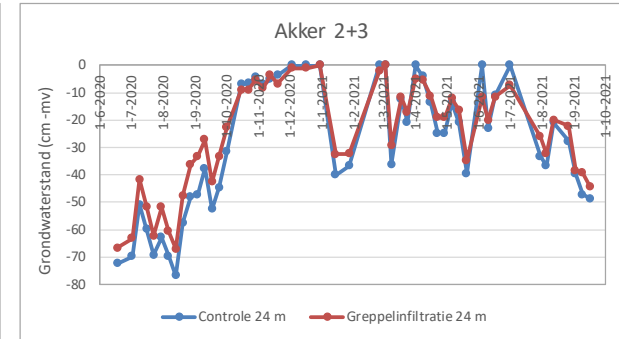
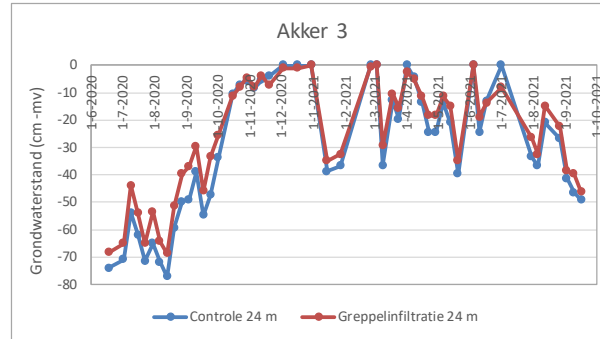
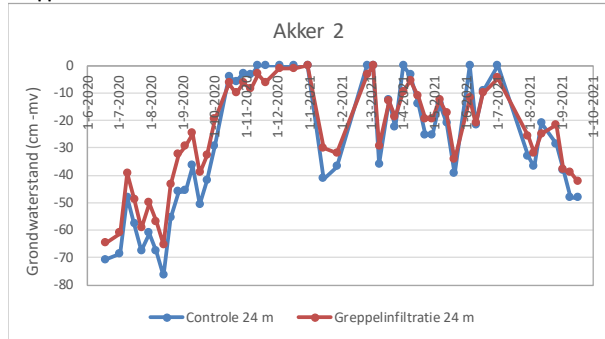
Greppelafstand 6 m



Greppelafstand 12 m



Greppelafstand 24 m



Figuur 3.11 Grondwaterstanden greppelinfiltratie van 18-6-2020 tot 16-9-2021 per greppelafstand (6, 12 en 24 m), gemiddeld per akker en over beide akkers.

De meetreeks van *Greppelinfiltratie* is relatief beperkt (ruim een jaar), maar de metingen lieten wel zien dat bij de drie greppelafstanden de grondwaterstand verhoogd werd in de drogere perioden ten opzichte van de *Referentie* zonder infiltratie.

HG3 en LG3

Op basis van de gemeten grondwaterstanden zijn voor de proefperiode van ruim een jaar de HG3 en LG3 berekend. Deze waarden zijn uitgedrukt ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte en staan in Tabel 11.

Tabel 11 *HG3 en LG3 per greppelafstand (cm beneden maaiveld).*

	6 m	12 m	24 m
<i>GHG</i>			
Referentie	3	3	9
Greppelinfiltratie	2	6	2
<i>GLG</i>			
Referentie	49	52	54
Greppelinfiltratie	31	36	36

Statistische analyse

Voor percelen 8-9 zijn de grondwaterstanden per greppelafstand statistisch geanalyseerd op dezelfde wijze als dat voor de *Drukdrains* is gebeurd (zie vorige paragraaf 3.2.1.). Vanwege de vervuiling van de greppel op akker 2 bij greppelafstand 12 m is de analyse uitgevoerd van begin augustus 2020 tot en met september 2021. In de analyse zijn ook de resultaten van de percelen met *Drukdrains* meegenomen om het effect van *Greppelinfiltratie* met dat van *Drukdrains* te kunnen vergelijken.

Ook uit de analyse voor *Greppelinfiltratie* bleek dat Delta REF en Delta GINF voor *Greppelinfiltratie* zich volgens een 2^e orde polynoom tot elkaar verhielden. In perioden met een neerslagoverschot (veelal in het winterhalfjaar) had *Greppelinfiltratie* een extra verlagend effect op de grondwaterstand ten opzichte van de *Referentie*. De resultaten van de statistische analyse staan in Tabel 12.

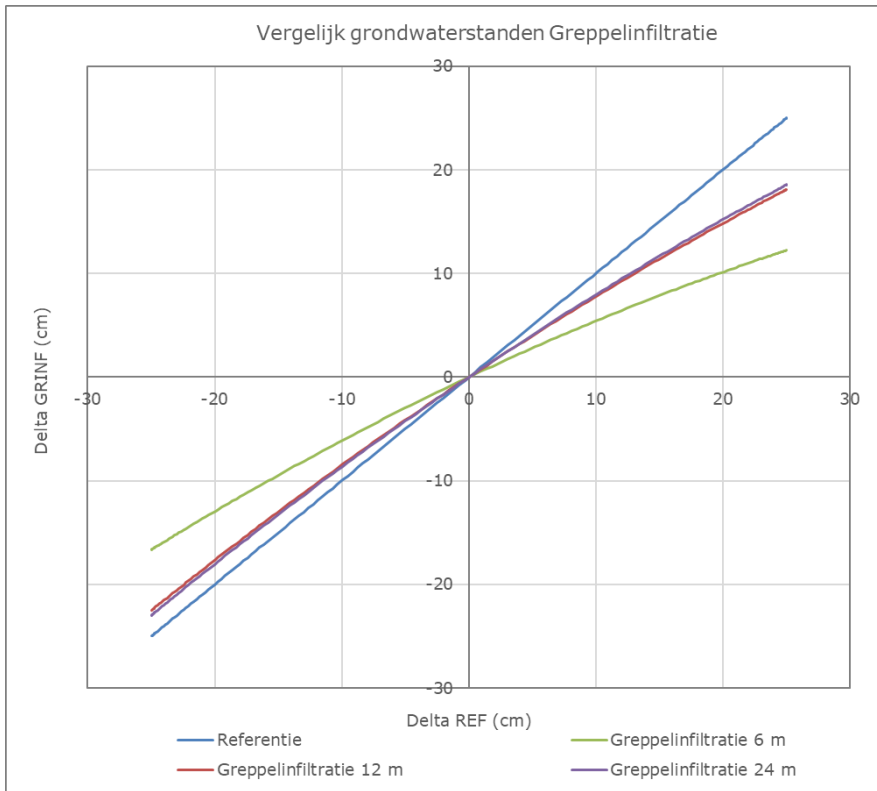
De lineaire parameter beschrijft de verandering in de grondwaterstand voor *Greppelinfiltratie* ten opzichte van een verandering in de grondwaterstand van de *Referentie* rondom het (genormaliseerde) gemiddelde niveau van de *Referentie* (oftewel de raaklijn van de curve-vormige relatie). Voor *Greppelinfiltratie* geeft de kwadratische term uit de polynoom functie de extra afwijking weer van de grondwaterstand in het winterhalfjaar ten opzichte van de *Referentie*, dit in tegenstelling tot de *Drukdrains*, waar de kwadratische term de extra afwijking van de grondwaterstand in het zomerhalfjaar weergeeft ten opzichte van de *Referentie*.

Voor *Greppelinfiltratie* was alleen de lineaire parameter van perceel 8, greppelafstand 6 m significant verschillend van 1. Dit betekent dat alleen voor deze greppelafstand de verhoging van de gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van de *Referentie* significant was. Tevens zijn de significante verschillen tussen de lineaire parameters van de proefpercelen aangegeven. Dit laat zien dat, gegeven de analyseperiode, het effect van *Greppelinfiltratie* bij een greppelafstand 6 m gelijk was aan perceel 4 en 7. Voor de greppelafstanden 12 en 24 m was het effect op de grondwaterstand gelijk.

Tabel 12 Analyse Drukdrains (perceel 1, 2, 4, 6 en 7) en Greppelinfiltratie (perceel 8 en 9) met 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	Lineaire parameter			Kwadratische term			Intercept				
	Waarde	Paarsgewijze significantie	Significant verschillend van 1	Waarde	Paarsgewijze significantie	Significant verschillend van 1	Drukdrains gemiddeld	Referentie gemiddeld	Intercept genormaliseerd	Paarsgewijze significantie	Significant verschillend van 0
Perceel 1	0.13	a	*	0.004541	b	*	-18.5	-40.1	21.6	a	*
Perceel 2	0.32	ab	*	0.004541	b	*	-20.1	-39.2	19.0	ab	*
Perceel 4	0.49	bc	*	0.004541	b	*	-33.3	-33.2	-0.1	d	ns
Perceel 6	0.61	cd	*	0.004541	b	*	-21.5	-34.4	12.8	bc	*
Perceel 7	0.50	bc	*	0.004541	b	*	-20.0	-36.3	16.2	bc	*
Perceel 8-6 m	0.58	bc	*	-0.003537	a	*	-15.4	-28.9	13.5	bc	*
Perceel 8-12 m	0.81	d	ns	-0.003537	a	*	-20.0	-29.5	9.4	c	*
Perceel 9-24 m	0.83	d	ns	-0.003537	a	*	-28.8	-31.8	3.0	cd	ns

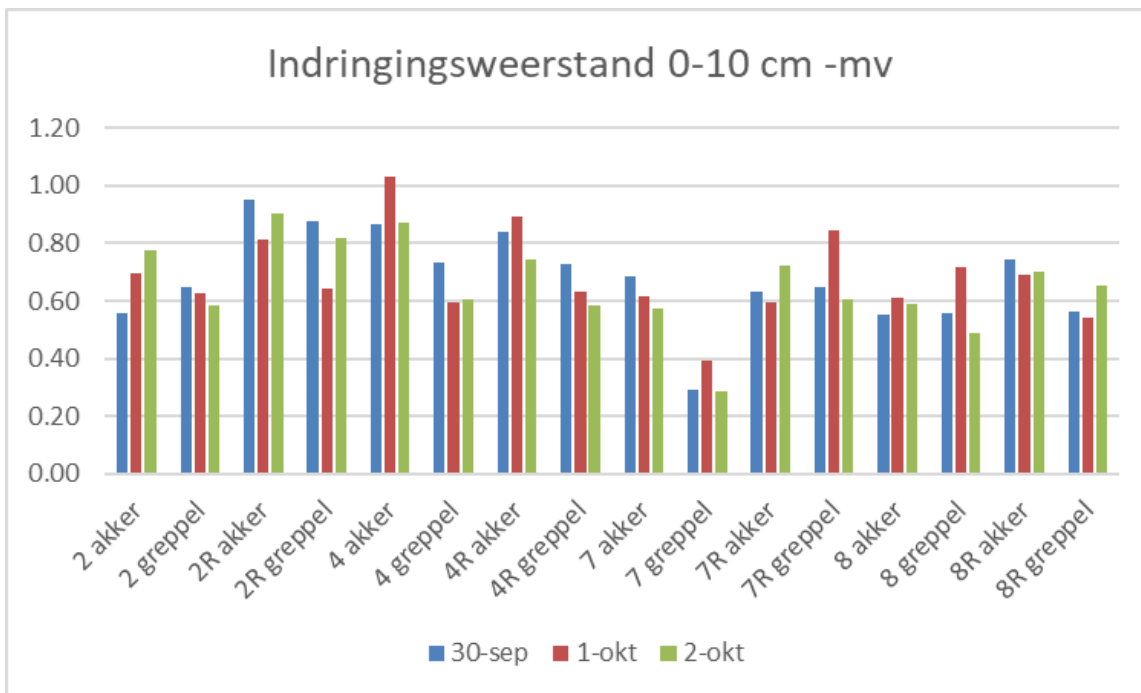
Om de effecten van de greppelafstanden, op basis van de relaties uit de statistische analyse, in beeld te brengen, staan in Figuur 3.12 de gemodelleerde grondwaterstanden voor Delta REF en Delta GRINF voor *Greppelinfiltratie*. Het modelbereik voor Delta Ref en Delta GRINF is op +25 cm tot -25 cm gesteld. 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 kwadratisch term tot uitdrukking.



Figuur 3.12 Delta REF uitgezet tegen Delta GRINF ter illustratie van de gemodelleerde verschillen (lineaire parameter en kwadratische term, exclusief intercept) tussen Greppelinfiltratie en de Referentie voor de greppelafstanden 6, 12 en 24 m. Het modelbereik voor Delta Ref en Delta GRINF is gesteld op +25 cm tot -25 cm. Extrapoleren met waarden > 25 cm voor Delta Ref geeft risico op onbetrouwbare resultaten.

3.3 Draagkracht

Om het effect van *Drukdrains* en *Greppelinfiltratie* op draagkracht van de graszode vast te stellen zijn in 2020 met een penetrometer oriënterende draagkrachtmetingen uitgevoerd. Hierbij zijn op 30 september, 1 en 2 oktober metingen uitgevoerd bij een toenemende neerslag om te zien of behandelingen verschillende trends zouden laten zien in de verandering van draagkracht. De gemiddelde resultaten voor de laag 0-10 cm beneden maaiveld staan in Figuur 3.13. In Bijlage 9 staan de afzonderlijke meetresultaten.



Figuur 3.13 Gemiddelde indringingsweerstand (0-10 cm beneden maaiveld) in MPa voor perceel 2, 4 en 7 met en zonder Drukdrains en perceel 8 met en zonder Greppelinfiltratie. De referentie percelen zijn met -R aangeduid. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen metingen midden op de akkers en nabij de greppels.

De metingen lieten vooral lagere waarden zien voor greppels vergeleken met de akkers. De verschillen tussen de Drukdrains en Greppelinfiltratie en de Referenties 4, 7 en 8 waren betrekkelijk gering. Op perceel 2 was de draagkracht bij Drukdrains (met vooral extra infiltratie), duidelijk lager dan op perceel 2R. Daarbij nam bij Drukdrains tussen de meetdagen op de akker de draagkracht toe en bij de greppel af. Bij de Referentie en ook de overige percelen nam daarentegen de draagkracht tussen de meetdagen af of bleef ongeveer gelijk. Op perceel 4 was bij Drukdrains de draagkracht op de akker hoger dan op de akker van perceel 4R. De metingen waren nabij de greppels op perceel 4 en 4R vergelijkbaar. Op perceel 7 was bij Drukdrains (met extra infiltratie) was de draagkracht op de akker gelijk aan die op perceel 7R, echter nabij de greppel was op perceel 7 de draagkracht beduidend lager dan op perceel 7R.

3.4 Graslandgebruik en praktijkervaringen

Het IPV-pilotbedrijf heeft het graslandgebruik voor wat betreft bemesten, weiden en maaien bijgehouden. In Bijlage 10 staat een uitgewerkte graslandkalender voor 2019. Extra infiltratie door Drukdrains leidde niet tot een beperking van het graslandgebruik. Wel waren de betreffende percelen merkbaar natter en soms werd de grens van onvoldoende draagkracht voor de graszode bereikt. Dit bleek vooral in de nazomer of najaar het geval op het moment dat de neerslaghoeveelheden toenamen.

Tijdens droge perioden werd geen productieverhoging door extra infiltratie waargenomen, echter hier kan geen betrouwbare uitspraak over gedaan worden, omdat hier niet aan gemeten is. In Tabel 13 staan de bijzonderheden voor wat betreft mest uitrijden, het inscharen van vee in het voorjaar, het tussentijds opstallen door vernatting en het opstallen van vee in het najaar.

Opvallend was dat het gras op de drukdrainpercelen in het najaar beduidend lichter kleurden dan het gras op de referentiepercelen. Zie verder (paragraaf 4.4).

Tabel 13 Bijzonderheden graslandgebruik IPV-pilotbedrijf in Assendelft 2019-2021.

Maand	2019	2020	2021
Februari	-	Op drukdrainpercelen 'Huiskavel achter' actief gedraineerd waardoor vroeger mest uitgereden kon worden.	-
Maart	Per 7 maart mest uitgereden.	Per 1 maart mest uitgereden.	Per 3 maart mest uitgereden.
April	26 april koeien naar buiten gedaan op controle percelen. Draagkracht was niet beperkend.	18 april koeien naar buiten gedaan op controle percelen. Draagkracht was niet beperkend.	Door koud voorjaar koeien 22 april naar buiten. Draagkracht was niet beperkend.
Mei	-	-	Koeien van 5-24 mei op stal gehouden vanwege natte omstandigheden. 25 mei weer ingeschaard op drukdrainpercelen 1-2
Juni	-	-	-
Juli	-	Koeien zijn korter naar buiten gegaan vanwege warmte	-
Augustus	Koeien van 30 juli tot 14 augustus op stal gehouden vanwege droogte en hitte.	Tijdens droogte bleven de drukdrainpercelen groener en bleef de zodekwaliteit beter op peil dan van de referentiepercelen	-
September	23 september koeien op stal	-	11 september koeien opgesteld.
Oktober	Drukdrainpercelen kleurden aanmerkelijk geler dan de referentiepercelen	15 oktober koeien opgesteld. Drukdrainpercelen kleurden aanmerkelijk geler dan de referentiepercelen	Drukdrainpercelen kleurden aanmerkelijk geler dan de referentiepercelen

3.5 Botanische samenstelling

In het najaar van de proefjaren 2018-2021 is de botanische samenstelling van de referentiepercelen en de percelen met Pompgestuurde onderwaterdrains op het pilotbedrijf in Assendelft bepaald. In Tabel 14 staan de resultaten van de kartering per proefperceel per proefjaar voor de meest voorkomende grassen. De volledige resultaten van de kartering staan in Bijlage 11. 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. De resultaten laten geen systematische verandering van de botanische samenstelling zien als gevolg van de verschillende drainbehandelingen.

Tabel 14 Botanische samenstelling voor de behandelingen Drukdrains (D) en Referentie (C) en de percelen 1-2 op 'Huiskavel voor' (1) en de percelen 3-6 op 'Huiskavel achter' (2) 2018-2021.

Grootte	4,9	4,1	7,0	5,5	4,9	4,1	7,0	5,5	4,9	4,1	7,0	5,5	4,9	4,1	7,0	5,5
Bedekking %	98	98	98	95	98	98	98	95	98	98	98	95	98	98	98	98
Engels raaigras	70	74	71	65	70	74	76	66	71	75	78	72	70	78	73	72
ruw beemdgras	15	12	18	15	15	12	12	15	15	12	10	11	16	10	14	11
kweek	2	3	1	2	3	3	1	2	3	3	1	2	3	2	1	2
fioringras	3	3	2	6	3	3	2	6	3	3	2	6	3	3	2	6
gestreepte witbol	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	3	3	1	1	3	3
straatgras	5	4	5	6	4	4	5	6	3	3	4	3	3	3	5	3

+ 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.

3.6 Maaiveldddaling en broeikasgasemissies

Op basis van Akker *et al.* (2007, 2008) is een schatting van de reductie van CO₂- en N₂O-emissie en maaiveldddaling berekend met respectievelijk de formules 1 en 4 uit paragraaf 2.7. 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 voor perceel 1-7 de GLG berekend op basis van vier jaar. De resultaten staan in Tabel 15. Voor *Greppelinfiltratie* was de proefperiode van ruim een jaar tekort om een GLG te berekenen en zodoende zijn voor deze maatregel geen reductie van maaiveldddaling en CO₂- en N₂O-emissie geschat.

Tabel 15 De GLG en de op basis hiervan geschatte maaiveldddaling, CO₂- en N₂O-emissie per perceel (1-7) voor de proefperiode 2018-2021 en het percentage reductie van maaiveldddaling, CO₂- en N₂O-emissie voor Drukdrains ten opzichte van de Referentie.

	Perceel 1	Perceel 2	Perceel 3	Perceel 4	Perceel 5	Perceel 6	Perceel 7
GLG (cm -mv)							
Referentie	66	64	53	52	51	53	53
Drukdrains	35	39	54	52	53	42	34
Maaiveldddaling (mm)							
Referentie	7.5	6.9	4.0	3.8	3.5	3.9	3.9
Drukdrains	0.0	0.1	4.4	3.7	4.0	1.0	0.0
CO₂-emissie (t CO₂ ha⁻¹.jaar⁻¹)							
Referentie	11.4	10.2	4.6	4.1	3.6	4.3	4.4
Drukdrains	0.0	0.0	5.2	3.9	4.4	0.0	0.0
NO₂-emissie (t CO₂ ha⁻¹.jaar⁻¹)							
Referentie	1.3	1.2	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
Drukdrains	0.0	0.0	0.6	0.4	0.5	0.0	0.0
Reductie maaiveldddaling en emissies van CO₂ en N₂O (%)							
Drukdrains	100	100	-14	5	-22	100	100

Op perceel 1, 2, 6 en 7, waar de *Drukdrains* relatief effectief waren, zou volgens de relatie van Akker *et al.* (2007, 2008) behorend bij een dun kleidek de maaiveldddaling en broeikasgasemissie volledig teniet gedaan worden (100 % reductie). Op de relatief natte percelen percelen 3, 4 en 5 hadden de *Drukdrains* door de

aanloopproblemen voor wat betreft de infiltratie vooral een drainerend effect waardoor de geschatte maaiveldaling en broeikasgasemissie gelijk bleef of zelfs toenam.

3.7 Grondwaterstandsbeheer

In de aansturing van de *Drukdrains* is uitgegaan van een streefgrondwaterstand van 35 cm beneden maaiveld. De pomp op de 'huiskavel voor' werd sinds het voorjaar van 2020 aangestuurd door een automatische peilregeling van De Vos Elektrotechniek uit Mijdrecht evenals de pompen in polder Zuidervenen. De pompen op het achterste deel van de huiskavel werden met de hand bediend. De ervaring was dat de pompen het overgrote deel van de zomer op infiltreren hebben gestaan. Dat betekent dat frequent wisselen tussen infiltreren en draineren niet aan de orde was. Het pilotbedrijf was bovendien terughoudend met draineren, enerzijds om te voorkomen dat vrij snel daarna weer water aangevoerd zou moeten worden en anderzijds om het risico op het afvoeren van nutriënten zoveel mogelijk te voorkomen. Het is onduidelijk in welke mate dit het geval was.

Voor de waterreservoirs met automatische peilregeling werden de pompen in eerste plaats aangestuurd door een webapplicatie van De Vos. Aanvullend kon met de webapplicatie Reverse Drain, die door WLR is ontwikkeld, geanticipeerd worden op een voorspelling van de verwachte bodemvochttoestand en grondwaterstand. De App geeft een beeld van wanneer de bodem te nat of te droog wordt en op basis hiervan kon de aansturing van de pompen bijgesteld worden. In Bijlage 12 staan een screenshot van Reverse Drain en de resultaten van het peilbeheer volgens het programma voor proefpercelen van polder Zuiderveen en het pilotbedrijf in 2020.

4 Discussie

4.1 Maaiveldhoogte

De hoogtemetingen (2019-2021), zijn gebruikt om de gemiddelde hoogte van het maaiveld per perceel vast te stellen. De reeks van drie jaren 2019-2021 was te kort om een uitspraak te kunnen doen over de verandering van maaiveld daling. Meten in het vroege voorjaar (februari-maart) geeft tussen jaren de meest vergelijkbare meetomstandigheden door relatief hoge grondwaterstanden.

De *Drukdrains* en *Referentie* lagen op verschillende percelen, waarbij de maaiveldhoogte van de *Referenties* gemiddeld 5-10 cm hoger was dan die van de *Drukdrains*, uitgezonderd perceel 3 en 5. De grondwaterstanden zijn zodoende uitgedrukt ten opzichte van het maaiveld en niet ten opzichte van een gemiddelde maaiveldhoogte voor het drukdrain- en referentieperceel. In principe zou één van de gemiddelde maaiveldhoogtes als referentie gekozen kunnen worden, maar dan wordt geen rekening gehouden met de invloed van drooglegging op het hydrologische systeem in de bodem (zoals invloed van capillaire opstijging en mate van kwel/wegzijing). Voor *Greppelinfiltratie* en de bijbehorende *Referentie* (één perceel) was de gemiddelde maaiveldhoogte bij de verschillende greppelafstanden redelijk vergelijkbaar en zijn de grondwaterstanden wel weergegeven ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van het betreffende perceel.

4.2 Grondwaterstanden

4.2.1 Drukdrains

De grondwaterstanden zijn in het IPV-onderzoek (2018-2021) op dezelfde manier geanalyseerd als die in het onderzoek op KTC Zegveld (2016-2020). De parameters uit de analyses kunnen zodoende vergeleken worden, echter met de opmerking dat de analyseperioden verschilden. De uitkomsten zijn zodoende niet volledig vergelijkbaar, aangezien verschil in weerjaren invloed heeft op het grondwaterstandsverloop. Des te korter de onderzoeksperiode des te groter is de invloed hiervan.

De streefgrondwaterstanden waren voor perceel 1-6 uit het IPV-onderzoek en perceel 13-16 uit het onderzoek op KTC Zegveld gelijk, namelijk 30 á 35 cm beneden maaiveld. Op perceel 7 was het streefpeil hoger namelijk 10 á 15 cm beneden maaiveld. De drainafstanden verschilden; op de IPV-proefpercelen was de drainafstand 4 m en op KTC Zegveld was de drainafstand 6 m. In Tabel 16 staan de analyseresultaten voor verschillende locaties en deze geven een indruk hoe deze zich tot elkaar verhouden. Vooral de lineaire parameters kwantificeren het verschil tussen de locaties en percelen.

Tabel 16 Parameters uit statistische analyse van het IPV-onderzoek te Assendelft en Naurerna (2018-2021) en op KTC Zegeveld (2016-2020).

Locatie	Perceel	Lineaire parameter	Kwadratische term	Intercept genormaliseerd
Assendelft	Perceel 1	0.325	0.006075	15.1
	Perceel 2	0.623	0.006075	11.8
	Perceel 4 ¹⁾	0.662	0.006075	-6.0
	Perceel 6 ¹⁾	0.663	0.006075	5.2
Polder Zuiderveen	Perceel 7	0.784	0.006075	11.4
KTC Zegveld	Perceel 13	0.532	0.004894	0.28
	Perceel 14	0.591	0.004894	2.1
	Perceel 15	0.497	0.004894	2.631
	Perceel 16	0.437	0.004894	5.721

¹⁾ Pas vanaf augustus 2019 kon actief geïnfilterd worden

De relatief lage waarde van de lineaire parameter voor perceel 1 van het IPV-pilotbedrijf geeft aan dat op dit perceel de *Drukdrains* zeer effectief waren in relatie tot de andere percelen op dezelfde proeflocatie en de proefpercelen op KTC Zegveld. Dit is te verklaren door de relatief kleine drainafstand, maar ook doordat op dit perceel de *Drukdrains* vanaf de start van het onderzoek goed hebben gefunctioneerd. Op perceel 1 was de infiltratie beter dan op perceel 2, mogelijk door een verschil in horizontale doorlatendheid van de bodem. Overigens bleek dit niet uit de (drie) gemeten k-waarden. Op de percelen 3-6 uit het IPV-onderzoek kon pas vanaf augustus 2019 actief geïnfilterd worden en kwam het effect hiervan pas in 2020 tot uiting. Dit gaf relatief hoge waarden voor de lineaire parameter. Op perceel 7 functioneerden de *Drukdrains* al vanaf eind juli 2018 en volgens Figuur 3.7 was de infiltratie aanzienlijk. Dit kwam echter niet tot uitdrukking in de lineaire parameter, waarschijnlijk omdat de eerste vijf (relatief diepe grondwaterstanden) in juni-juli 2018 voor de *Drukdrains* en *Referentie gelijk* waren.

In het kader van het Kennis Basis programma 34: Circulair en Klimaatneutraal Project KB-34-005-001 (Veengebieden in nieuwe circulaire en klimaatpositieve productiesystemen) wordt een statistische analyse uitgevoerd over locaties heen (nog niet gepubliceerd), waarbij de resultaten wel vergelijkbaar zijn door uit te gaan van dezelfde weerjaren (2018-2021). Een dergelijke analyse helpt om het resultaat van *Drukdrains* te kunnen veralgemeniseren.

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 vier 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 vier jaar kon hier niet aan voldaan worden. Daarnaast functioneerde het systeem bij de *Drukdrains* in de (drogere) beginjaren niet optimaal, waardoor bij verschillende percelen de LG3 dieper was dan bij een goed functionerend systeem het geval zou zijn. De resultaten zijn zodoende indicatief.

4.2.2 Greppelinfiltratie

Voor *Greppelinfiltratie* verhoogde alleen een greppelafstand van 6 m de grondwaterstand significant ten opzichte van de *Referentie* (Tabel 12). Voor deze afstand was het effect op de lineaire parameter vergelijkbaar met het effect van de *Drukdrains* op perceel 4 en 7. De greppelafstanden 12 en 24 m hadden een niet-significant effect op de grondwaterstand, echter de werking van de afstand 12 m werd tot augustus 2020 benadeeld door vervuiling van de greppel op akker 2. In het algemeen kan gesteld worden dat ook met *Greppelinfiltratie* de grondwaterstand op een hoger peil gehouden kon worden in de zomer, maar dat de maatregel minder effectief was dan *Drukdrains*. Daarbij moet opgemerkt worden dat de proefperiode slechts twee jaar betrof, waardoor de schatting van de parameters minder robuust was. Langere meetreeksen zijn gewenst om meer inzicht te krijgen in de potentie van *Greppelinfiltratie* als vernattingsmaatregel.

Voor *Greppelinfiltratie* was de kwadratische term negatief en voor *Drukdrains* positief. Dit betekent dat *Greppelinfiltratie* de grondwaterstand in de winter extra verlaagde en dat *Drukdrains* de grondwaterstand in

de zomer extra verhoogde ten opzichte van de *Referentie*. Het is echter lastig te verklaren waarom bij *Greppelinfiltratie* extra drainage optrad in de winter. Ook hier geldt dat een langere onderzoeksperiode gewenst is voor een betrouwbaardere analyse.

4.3 Draagkracht

De uitgevoerde draagkrachtmetingen waren indicatief om te zien of *Drukdrains* en *Greppelinfiltratie* tot een andere draagkracht van de graszode zou leiden dan die van de *Referentie*. Om relaties te kunnen afleiden voor modelberekeningen, zoals de bedrijfsberekeningen die in het kader van het IPV zijn uitgevoerd (Hoving et al., 2020), is het wenselijk om in een nog breder traject van nat naar droog en vice versa metingen te verrichten. Daarbij is het van belang om tevens de bodemvochttoestand te kwantificeren, bij voorkeur in de vorm van zuigspanning, conform de relaties van Van Wijk (1984). Ook is het van belang om de relatie tussen de draagkracht en de kritische grens voor weiden en maaien beter te onderbouwen. In bedrijfsberekeningen met het modelinstrumentarium Waterpas (De Vos et al., 2006) wordt een kritische grens aangehouden, waarbij weiden en maaien niet mogelijk is, van respectievelijk van 0,25 en 0,4 MPA.

4.4 Graslandgebruik en praktijkervaringen

De *Drukdrains* op het pilotbedrijf zorgden, ondanks een relatief hoog streefpeil voor de grondwaterstand van 30 á 35 cm beneden maaiveld, niet voor extra beperkingen (vermindering draagkracht graszode) in het graslandgebruik ten opzichte van de *Referentie*. Het bedrijf paste een beweidingssysteem toe, waarbij dagelijks de melkkoeien een nieuw perceel ingingen. Alle percelen van zowel de *Drukdrains* als de *Referentie* werden daarbij benut. De roulatie over de percelen werd in geen van de jaren onderbroken door een te lage draagkracht van of de drukdrain- of de referentiepercelen. In het vroege voorjaar van 2020 kon op de drukdrainpercelen van 'Huiskavel achter' vroeger mest uitgereden worden door tijdelijk het waterpeil in het reservoir te verlagen, waardoor tijdelijk de grondwaterstand zakte en de draagkracht verbeterde.

Opvallend was dat het gras op de drukdrainpercelen in het najaar een beduidend lichtere kleur had dan dat van de referentiepercelen. Dit duidt mogelijk op het effect van minder mineralisatie (door de gewenste verminderde veenafbraak) en daardoor een lagere beschikbaarheid van stikstof. Extra infiltratie kan de grasproductie verlagen aangezien stikstof een belangrijke groeifactor is. Eventueel zou ook toxiciteit van sulfide een rol kunnen spelen.

4.5 Botanische samenstelling

De botanische kartering liet geen systematische verandering van de botanische samenstelling zien als gevolg van het toepassen van *Drukdrains* of *Greppelinfiltratie*. De bodemvochttoestand was blijkbaar niet dusdanig verschillend dat dit de aanwezigheid van grassoorten en het aandeel hiervan gedurende de termijn van de proef beïnvloed heeft. In het algemeen heeft vernatting een negatief effect op de botanische samenstelling, vooral wanneer de grondwaterstand tijdens natte perioden tot in het maaiveld komt. Het is echter waarschijnlijk dat bij toepassing van *Greppelinfiltratie* met extra greppels en *Drukdrains* met een streefgrondwaterstand van 30-35 cm beneden maaiveld de graszode in de winter, het vroege voorjaar en tijdens natte perioden in het groeiseizoen in verhouding droger blijft en minder snel plasvorming optreedt. Dit is eerder gunstig dan nadelig voor de botanische samenstelling.

4.6 Maaiveldaling en broeikasgasemissies

De geschatte reductiepercentages voor maaiveldaling en broeikasgasemissies waren sterk afhankelijk van de hoogte van de GLG van de *Referentie*. Rondom de schattingen is een onzekerheid doordat

grondwaterstanden wekelijks gemeten zijn, de GLG is vastgesteld op basis van slechts vier jaren en de betrouwbaarheid van de relaties van Akker et al. (2007, 2008). Daarbij lagen de betreffende GLG's buiten de range aan GLG's, die ten grondslag liggen aan de gebruikte relaties. In het kader van het IPV, voerde het te ver om de onzekerheid van de schattingen voor maaiveldaling en broeikasgasemissie te kwantificeren. De schattingen moeten zodoende beschouwd worden als een indicatie. De berekende 100 % reductie betreft wellicht een overschatting van de werkelijkheid, maar wanneer met *Drukdrains* een grondwaterstand van tenminste 30 á 35 cm beneden maaiveld wordt gerealiseerd lijkt de ten doel gestelde reductie van bodemdaling en CO₂ en N₂O-emissie met 90 % haalbaar.

De werkelijke maaiveldaling kan meer reduceren dan op basis van het verschil in GLG is geschat. Metingen van 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 maaiveldaling zien ten opzichte van de *Referentie* zonder onderwaterdrains. Dit overtrof de verwachtingen, mogelijk omdat bij onderwaterdrains de bijna 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 maaiveldaling en CO₂-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). In Assendelft wordt op de percelen 1 en 1R gemeten, waar ook een deel van het onderzoek plaatsvond dat in het voorliggende rapport staat beschreven. 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 CO₂, N₂O en CH₄, maar ook de variabiliteit in de betreffende fluxen. Resultaten van N₂O-metingen (2005-2009) op Melkveeproefbedrijf Zegveld lieten volgens Pleijter et al. (2011) zien dat het verhogen van de grondwaterstand waarschijnlijk leidde tot lagere cumulatieve N₂O-emissies, maar een stijging van de temporele en ruimtelijke variabiliteit. Voor kwantificering van de N₂O-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. Uit de Jaarrapportage NOBV 2020-2021, deelrapport NOBV-Data-analyse 2020-2021, (<https://www.nobveenweiden.nl/bevindingen/>) blijkt uit een vergelijking tussen de percelen 1 en 1R van Assendelft dat de toepassing van *Drukdrains* een CO₂-reductie van 83% opleverde. Dit is wel een eerste resultaat en meer onderzoek is nodig om wetenschappelijk gefundeerde conclusies te kunnen trekken. Vooralsnog zijn niet voldoende meetresultaten beschikbaar om de effecten van onderwaterdrains op broeikasgasemissie te kwantificeren en te vergelijken met de gebruikte empirisch relaties voor CO₂ (Akker et al., 2007, 2008) en N₂O (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 Akker et al. (2007, 2008) en Jurasinski (2016).

4.7 Grondwaterstandsbeheer

De *Drukdrains* functioneerde op perceel 1 en 2 relatief snel vanaf de aanleg van de drains, de waterreservoirs en de installatie van de pompen. Echter, op perceel 3-6 was aanvankelijk de aanleg van goedwerkende waterreservoirs en het realiseren van een goed functionerende aansturing van de pompen een beperking voor het onderzoek. Pas vanaf begin augustus 2019 kon daadwerkelijk actief geïnfiltreerd worden, maar het effect hiervan kwam pas in 2020 tot uiting. Een andere beperking was dat door een te grote vlotteruitslag het streefpeil op deze percelen niet gehaald werd.

In het onderzoek dat op KTC Zegveld is uitgevoerd (Hoving et al., 2021) is het programma Reverse Drain ontwikkeld 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. In principe zouden met dit programma tevens de pompen voor *Drukdrains* automatisch aangestuurd kunnen worden, maar dit was nog niet doorgevoerd omdat eerst ervaring moest worden opgedaan met de voorspelling van de bodemvochttoestand en de grondwaterstand. De prototype applicatie brengt de effecten van extra infiltratie van *Onderwaterdrains*, *Drukdrains* en *Greppelinfiltratie* tot uitdrukking.

Het programma Reverse Drain voorzag in het kunnen instellen van de streefpeilen van het De Vos regelsysteem, echter dit bleek gecompliceerd. De koppeling van data en de afstemming kostte veel tijd en gaf technische problemen. Het gebruik van deze aansturingsmogelijkheid gaf te weinig meerwaarde ten opzichte van de aansturing rechtstreeks met het De Vos regelsysteem. Conceptueel is dit niet de goede weg gebleken en het beeld is nu, dat niet Reverse Drain een regelsystemen moet kunnen aansturen, maar dat omgekeerd de intelligentie van het Reverse Drain aan een regelsysteem toegevoegd zou moeten worden. Verwacht wordt dat inzicht in de te verwachten bodemvochttoestand en grondwaterstand meerwaarde heeft om overbodig water in- of uitpompen en belasting van het polderwatersysteem te voorkomen. Dit kan veel energie en daarmee kosten besparen.

Waterreservoirs en *Drukdrains* bleken gevoelig voor vervuiling. Op perceel 2 trad in 2020 een verstopping op ter hoogte van één van de verzamelputten (verbindingspunt tussen een drainbuis en de collectordrain). Om vervuiling te voorkomen is het van belang om voorzieningen te treffen die de instroom van voornamelijk bagger voorkomen.

Opvallend was dat bij het toepassen van pompgestuurde onderwaterdrains sulfidevorming optrad in de waterreservoirs in de vorm van een wit-grijze afzetting. Dit is bevestigd aan de hand van analyses door projectpartner B-ware. Sulfide is zeer corrosief en tast de apparatuur in de reservoirs aan. Nog onbekend is of dit een tijdelijk effect is of dat dit zal blijven optreden. Ook is het de vraag of dit proces in de wortelzone van de graszode optreedt en reductie van groei kan veroorzaken. Nader onderzoek is gewenst om deze vragen te beantwoorden.

5 Conclusies

De conclusies van het onderzoek waren als volgt:

- *Drukdrains* hadden zowel een significant drainerend als infiltrerend effect ten opzichte van de *Referentie* zonder onderwaterdrains.
- Het verhogend effect van *Drukdrains* op de grondwaterstand in de zomer was beduidend groter dan het verlagende effect op de grondwaterstand in de winter. In de winter werd dan ook niet actief gedraineerd door water uit te pompen. Wel waterde van een aantal percelen ('Huiskavel achter' perceel 3-6) de waterreservoirs in de winter af op de sloot.
- *Greppelinfiltratie* in combinatie met een hoog slootpeil had een infiltrerend effect ten opzichte van de gangbare situatie zonder watervoerende greppels. Het effect nam toe naarmate de greppelafstand kleiner was. Alleen voor de afstand 6 m was het effect significant.
- Het verhogende effect van *Greppelinfiltratie* op de zomergrondwaterstand was kleiner dan van *Drukdrains*, echter door een kortere onderzoeksperiode was de betrouwbaarheid van deze uitkomst lager.
- Voor *Greppelinfiltratie* zijn langere meetreeksen gewenst om meer inzicht te krijgen in de potentie van de vernattingsmaatregel.
- Het gehanteerde streefpeil voor *Drukdrains* leverde geen beperking op voor het graslandgebruik ten opzichte van de *Referentie*. In natte perioden werd geprofiteerd van extra drainage. Tijdens droge perioden werd geen productieverhoging door extra infiltratie waargenomen, echter hier is niet aan gemeten en zodoende kan hier geen betrouwbare uitspraak over gedaan worden.
- Gedurende het onderzoek werd geen verandering in botanische samenstelling waargenomen.
- Voor *Drukdrains* lijkt de ten doel gestelde reductie van bodemdaling en CO₂ en N₂O-emissie met 90 % haalbaar (op basis van de 'Van den Akker relaties'), met als belangrijke voorwaarde dat een relatief hoge grondwaterstand van tenminste 30 á 35 cm beneden maaiveld wordt gerealiseerd.

Literatuur

- Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007. Maaiveldaling, afbraak en CO2 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 CO2 from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission. 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. CO2 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
- 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.
- 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.
- 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 CO₂-C release of drained peatland soils in northeast Germany. *European Journal of Soil Science* 59, 1076-1086
- Kroeze, C., 1994. Nitrous oxide (N₂O). 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 N₂O en CO₂ 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 melkveeprroefbedrijf 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.

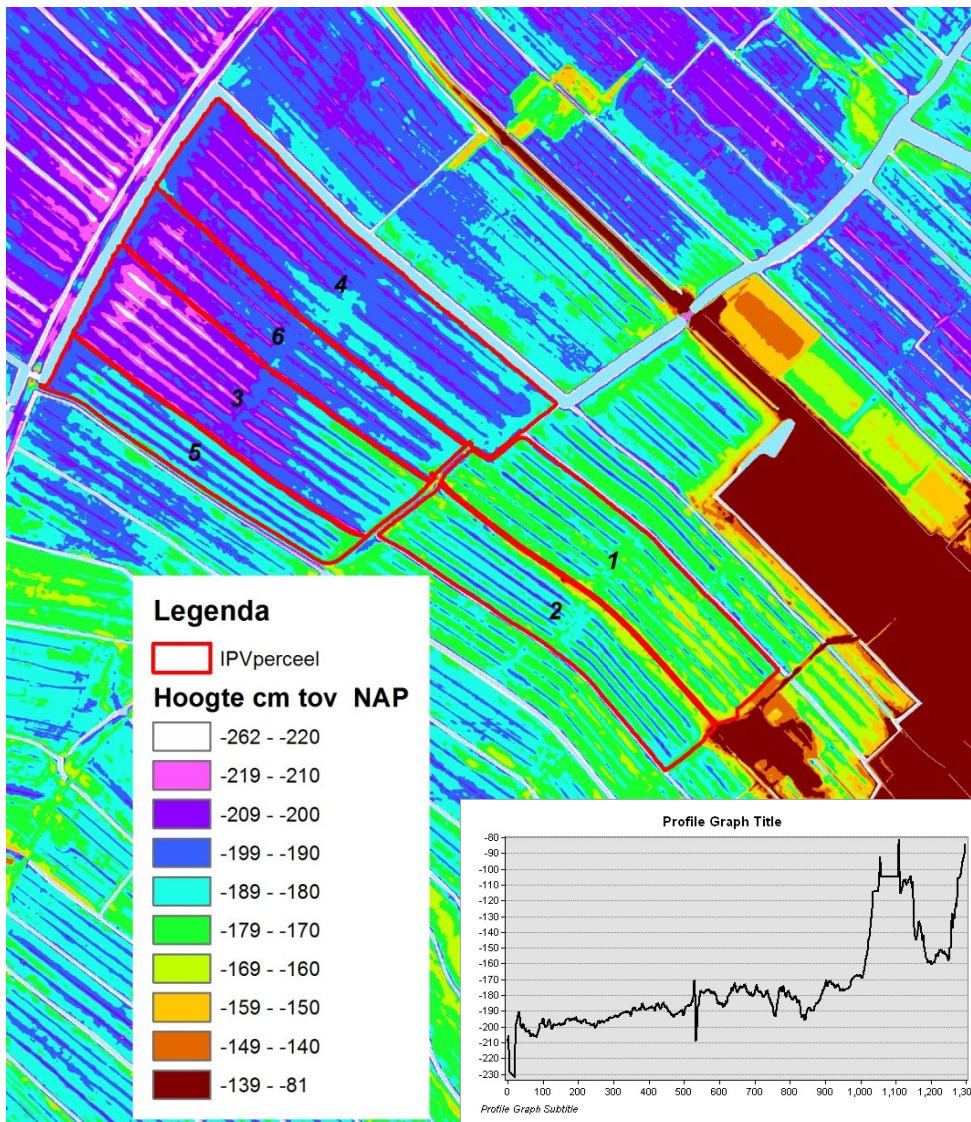
Vermeulen, J. en R.F.A. Hendriks, 1996. Bepaling van afbraaksnelheden van organische stof in laagveen. Ademhalingsmetingen aan ongestoorde veenmonsters in het laboratorium. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 288. 124 blz.

Wessolek, G., K. Schwärzel, M. Renger, R. Sauerbrey, C. Siewer, 2002. Soil hydrology and CO₂ 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 Maaiveldhoogte proefpercelen

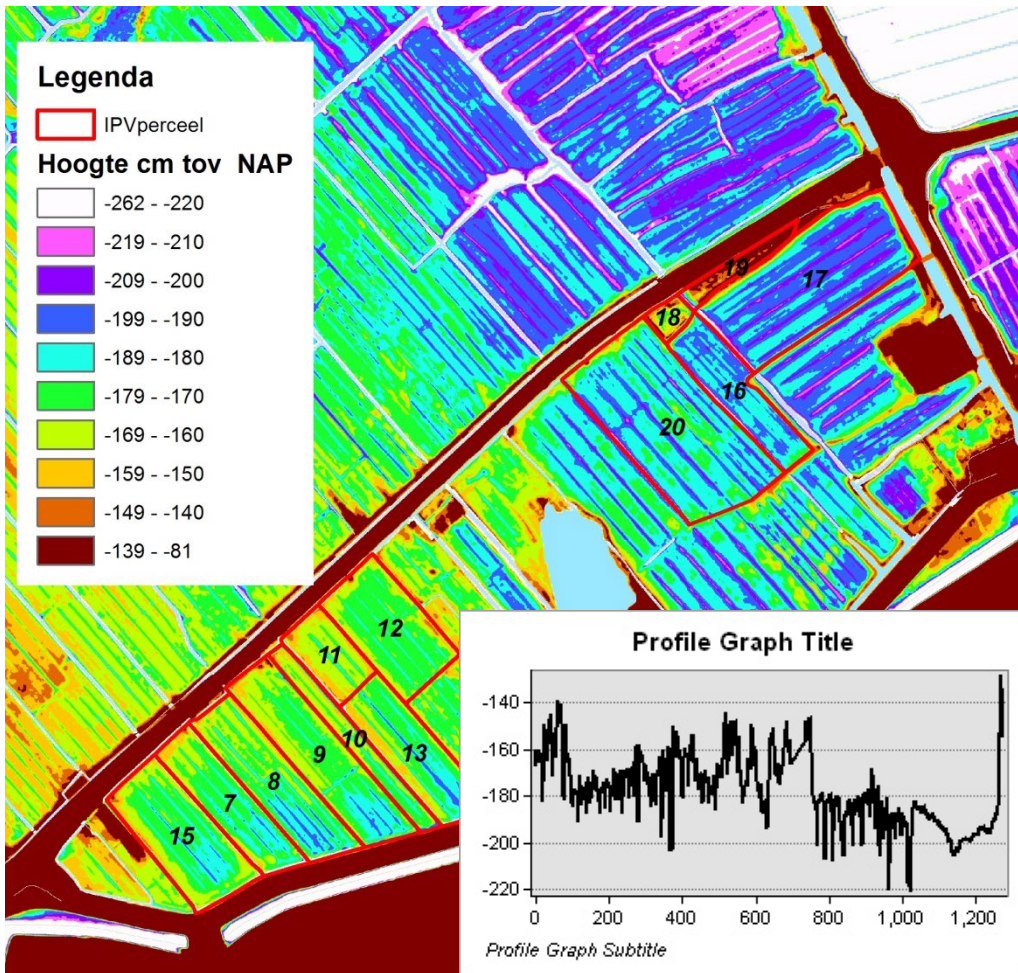
In Figuur 1 staat de maaiveldhoogte gebaseerd op AHN2 van zes proefpercelen op het IPV-pilotbedrijf, opgenomen in 2011.



Figuur 1 Hoogteverdeling in cm t.o.v. NAP voor 6 proefpercelen op het IPV-pilotbedrijf.

De bebouwing van Assendelft (Figuur 1 bruin) ligt hoger dan het omringende poldergebied, het gebied daalt in noordwestelijke richting, dit laat een raai van Noordwest – Zuidoost over de percelen 6 en 1 ook zien.

In Figuur 2 staat de maaiveldhoogte gebaseerd op AHN2 van 14 proefpercelen in polder Zuiderveen, opgenomen in 2011.



Figuur 2 Hoogteverdeling in cm t.o.v. NAP voor de percelen in polder Zuiderveen voor onderzoek naar het toepassen van paludi-cultuur en natte landbouw.

In de noordoostelijke hoek 9 (Figuur 2 wit) ligt een polder met lagere maaiveldhoogten. Het gebied ingericht voor paludicultuur heeft een hoger maaiveld dan het gebied voor natte landbouw, dit blijkt ook uit de raai van zuidwest naar noordoost over de percelen 15-7-8-9-10-11-12-natuurgebied-20-16-17. De verschillende percelen zijn genummerd (Figuur 2), enkele karakteristieken m.b.t. de maaiveldhoogten zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Maaiveldhoogte gegevens volgens AHN2 van de percelen 1-6 op het IPV-pilotbedrijf te Assendelft en percelen 7-20 in polder Zuiderveen te Nauerna.

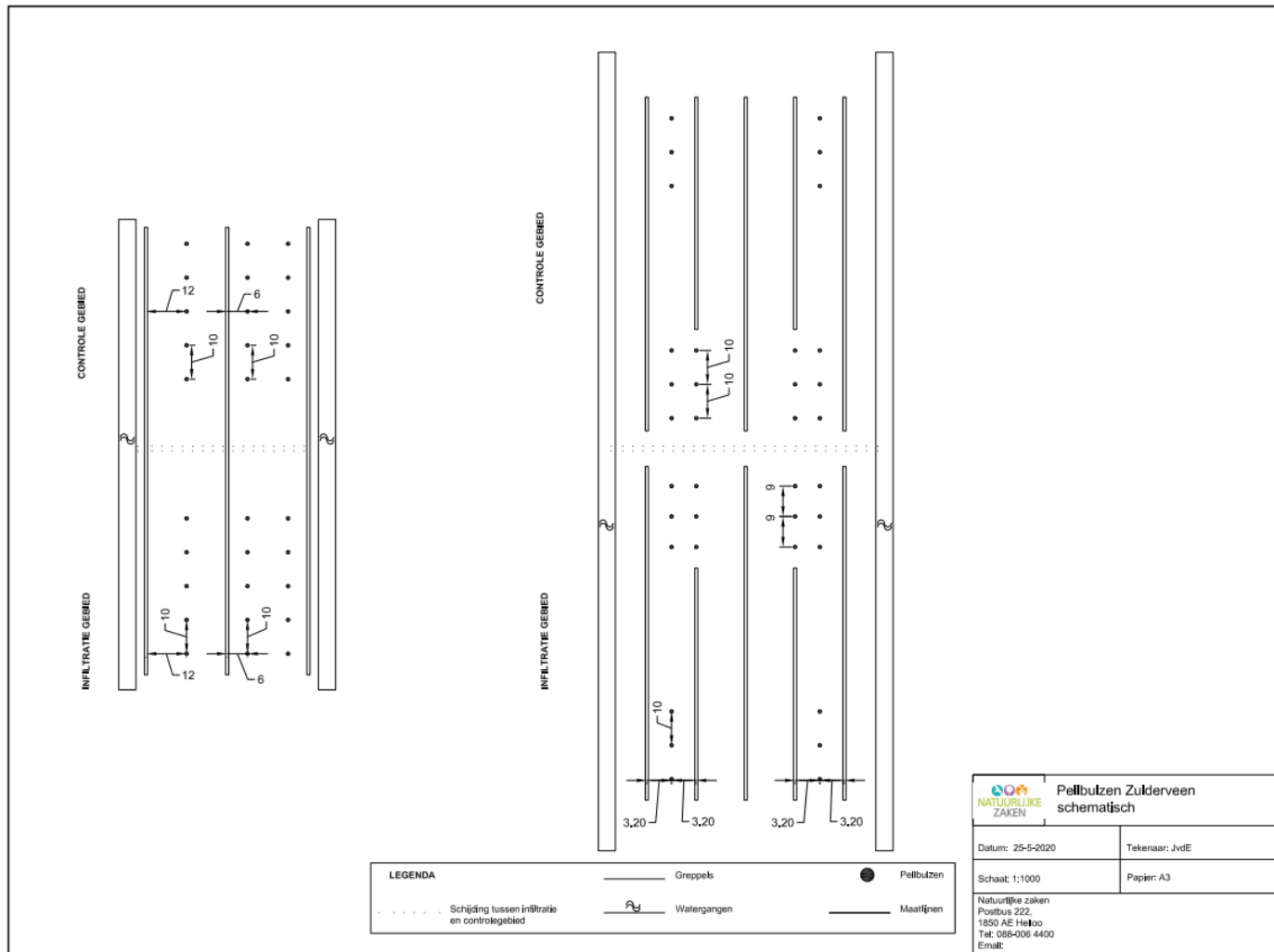
	Oppervlak	MIN	MAX	MEAN	RANGE	STD	MAJORITY	MEDIAN
	(ha)	(cm t.o.v. NAP)			(cm)		(cm t.o.v. NAP)	
1	4.85	-217	-138	-177	79	8.0	-177	-176
2	4.04	-219	-121	-180	98	10.0	-180	-180
3	5.32	-235	-157	-200	78	11.2	-206	-202
4	6.85	-238	-173	-196	65	7.4	-194	-196
5	2.55	-228	-168	-190	60	7.5	-185	-188
6	3.59	-234	-136	-197	98	8.0	-195	-197
7	1.03	-204	-122	-174	82	8.2	-178	-176
8	1.33	-206	-127	-175	79	8.9	-169	-174
9	1.73	-206	-128	-174	78	9.9	-171	-172
10	0.68	-208	-140	-174	68	11.6	-165	-172
11	0.60	-188	-143	-164	45	7.1	-167	-164
12	1.36	-189	-119	-172	70	6.7	-175	-173
13	1.20	-200	-149	-175	51	10.0	-176	-175
14	1.62	-201	-137	-171	64	9.7	-171	-172
15	1.46	-197	-110	-173	87	8.7	-178	-174
16	1.01	-226	-145	-188	81	7.8	-189	-189
17	2.72	-223	-86	-190	137	14.1	-191	-192
18	0.19	-222	-106	-162	116	17.3	-170	-163
19	0.33	-226	-100	-138	126	21.2	-138	-134
20	3.07	-231	-100	-185	131	8.8	-183	-185

Bijlage 2 Boorgatmetingen

Tabel 2 Resultaten boorgatmetingen te Assendelft en Nauerna op respectievelijk 24 en 27 maart 2017.

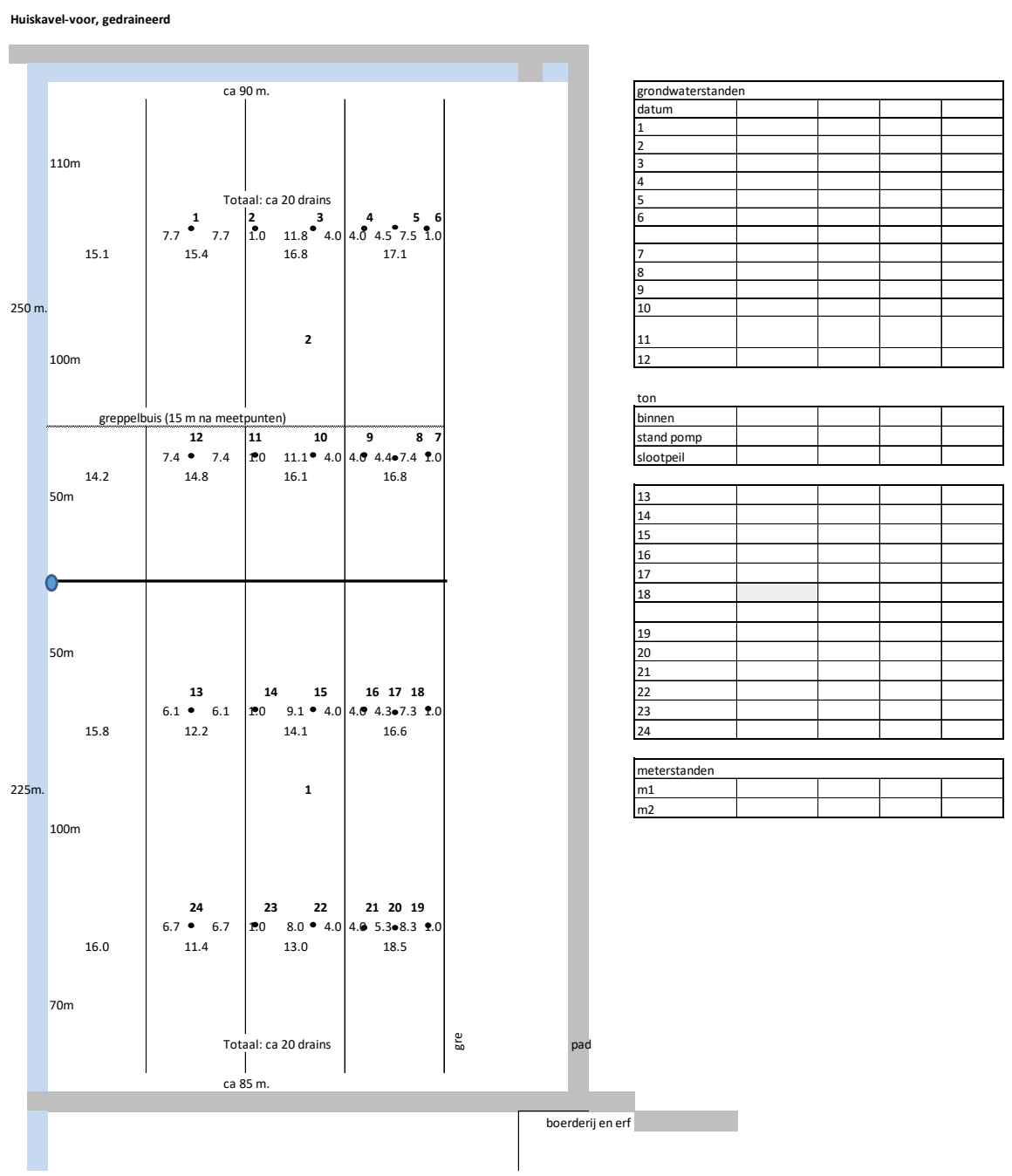
	Sublocatie	Grondwater-stand (cm-mv)	Diepte boorgat (cm-mv)	x-coördinaat (m)	y-coördinaat (m)	k-waarde (m/dag)	Stdev k-waarde (m/dag)
1001	a	33	75	111147	498745	0.018	0.006
1001	b	33	73	111147	498745	0.035	0.018
1003	a	31	72	111078	498912	0.036	0.010
1003	b	31	72	111078	498912	0.043	0.008
1006	a	29.5	74	110859	499002	0.558	0.043
1006	b	29.5	71	110859	499002	0.215	0.042
1009	a	29	72.5	111070	498685	0.101	0.015
1009	b	29	72	111070	498685	0.079	0.016
1011	a	30	73.5	110920	498841	0.050	0.025
1011	b	30	70	110920	498841	0.044	0.010
1013	a	29	72	110759	498946	0.091	0.013
1013	b	29	70	110759	498946	0.065	0.021
1014	a	26	64	110679	499008	0.047	0.012
1014	b	26	73	110679	499008	0.246	0.032
1018	a	34.5	75	110395	499297	0.045	0.013
1018	b	34.5	74	110395	499297	0.096	0.055
1020	a	18.5	69	110534	499159	0.051	0.012
1020	b	18.5	72	110534	499159	0.156	0.026
1027	a	22.5	69	110521	499461	0.253	0.044
1027	b	22.5	74	110521	499461	0.467	0.054
1030	a	24	68.5	110679	499195	0.017	0.003
1030	b	24	71	110679	499195	0.033	0.010
1031	a	17.5	65	110779	499208	0.008	0.000
1031	b	17.5	67	110779	499208	0.066	0.012
1034	a	31	75	111198	495264	0.042	0.000
1034	b	31	78	111198	495264	0.079	0.012
1035	a	28	79	111097	495163	0.013	0.000
1035	b	28	71	111097	495163	0.016	0.007
1036	a	17.5	75	110989	495113	0.065	0.020
1036	b	17.5	62.5	110989	495113	0.037	0.008
1037	a	20.5	75	111078	495020	0.109	0.036
1037	b	20.5	73	111078	495020	0.087	0.013
1038	a	23.5	78	110874	495106	0.369	0.039
1038	b	23.5	71	111874	495106	0.130	0.044
1039	a	27.5	79	110905	495013	0.792	0.158
1039	b	27.5	74	110905	495013	0.002	
1040	a	26	79	111028	494951	0.100	0.016
1040	b	26	77.5	110679	494951	0.066	0.012

Bijlage 3 Plattegrond Greppelinfiltratie



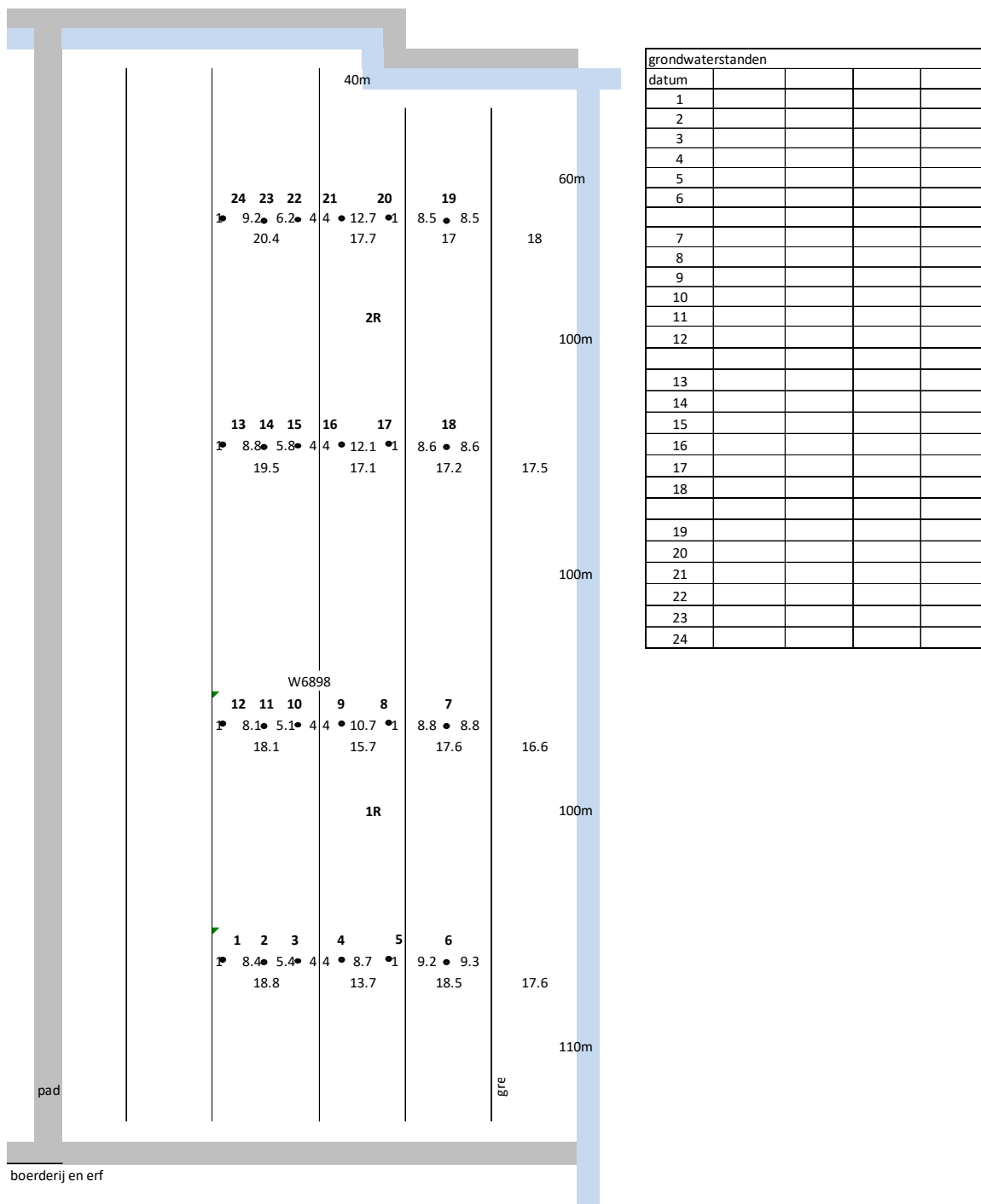
Figuur 3 Schematische plattegrond proefpercelen greppelinfiltratie met maatvoering en plaatsing peilbuizen. Links perceel 9 met een greppelafstand van 24 m en rechts perceel 8 met de greppelafstanden van 6 en 12 m.

Bijlage 4 Plaatsing peilbuizen Drukdrains

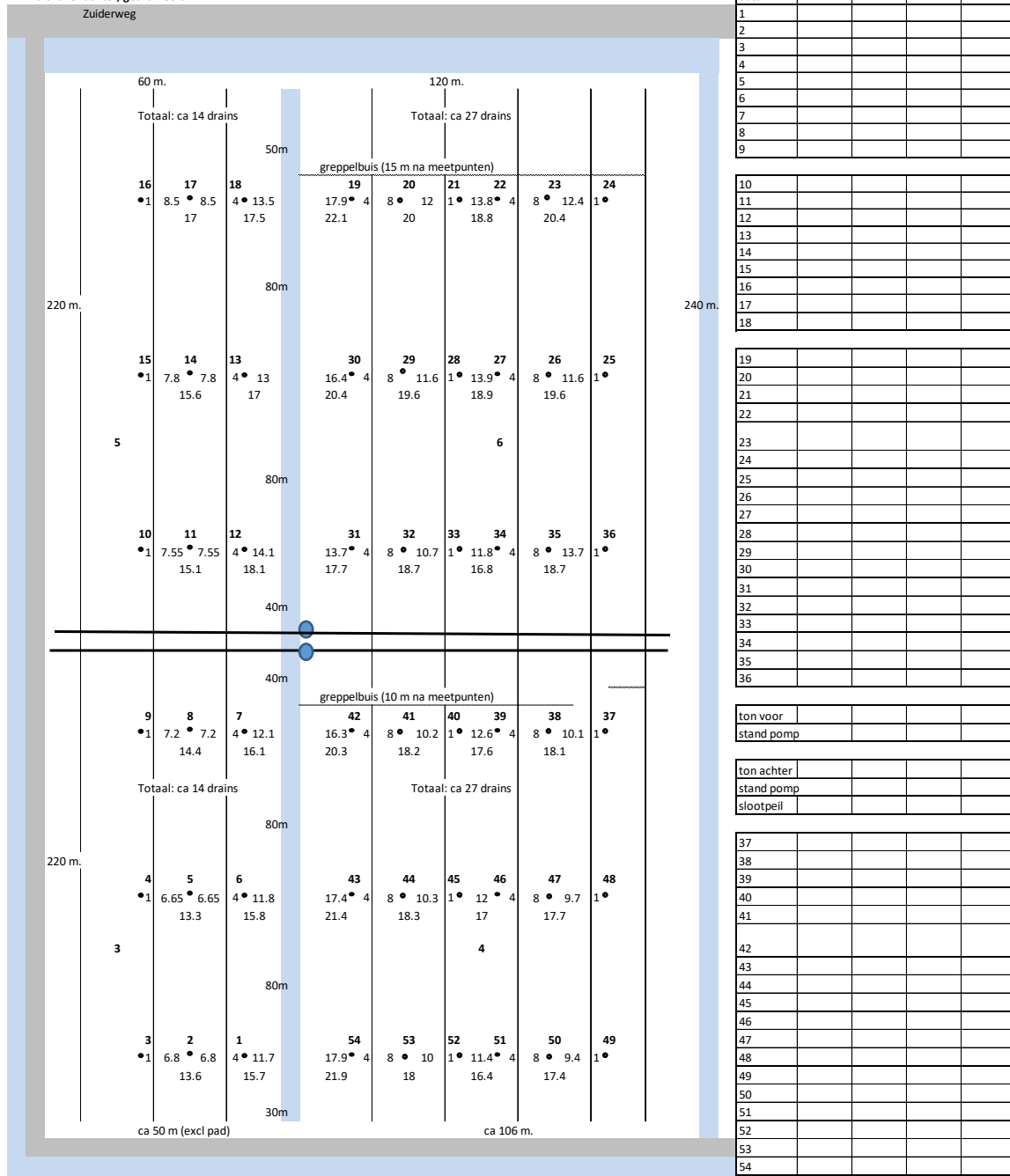


Figuur 4 Plaatsing peilbuizen 'Huiskavel voor' Drukdrains perceel 1 en 2.

Huiskavel-voor, referentie



Figuur 5 Plaatsing peilbuizen 'Huiskavel voor' Referentie perceel 1R en 2R.



grondwaterstanden			
datum			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			

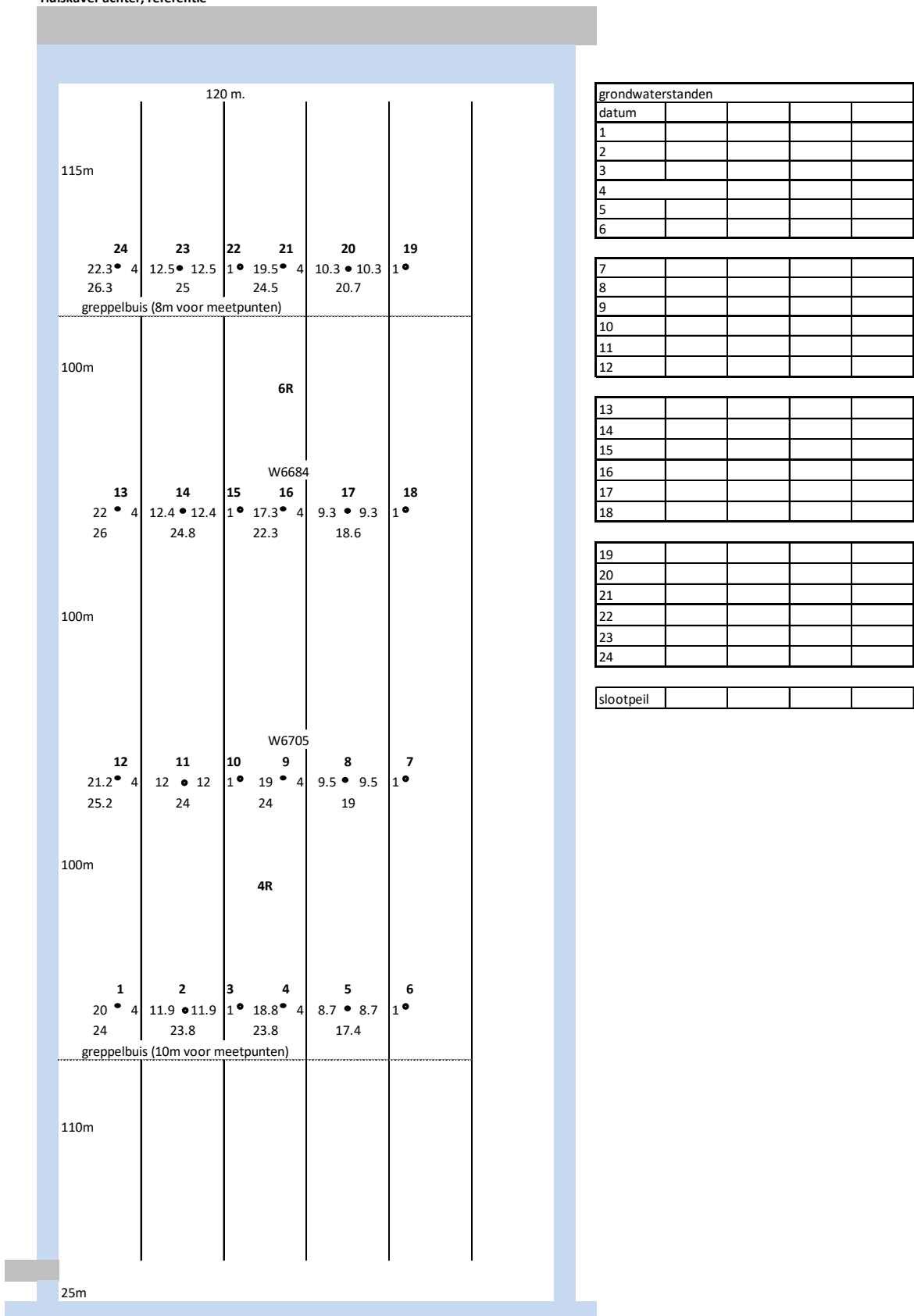
ton voor			
stand pomp			

ton achter			
stand pomp			
slootpeil			

37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			

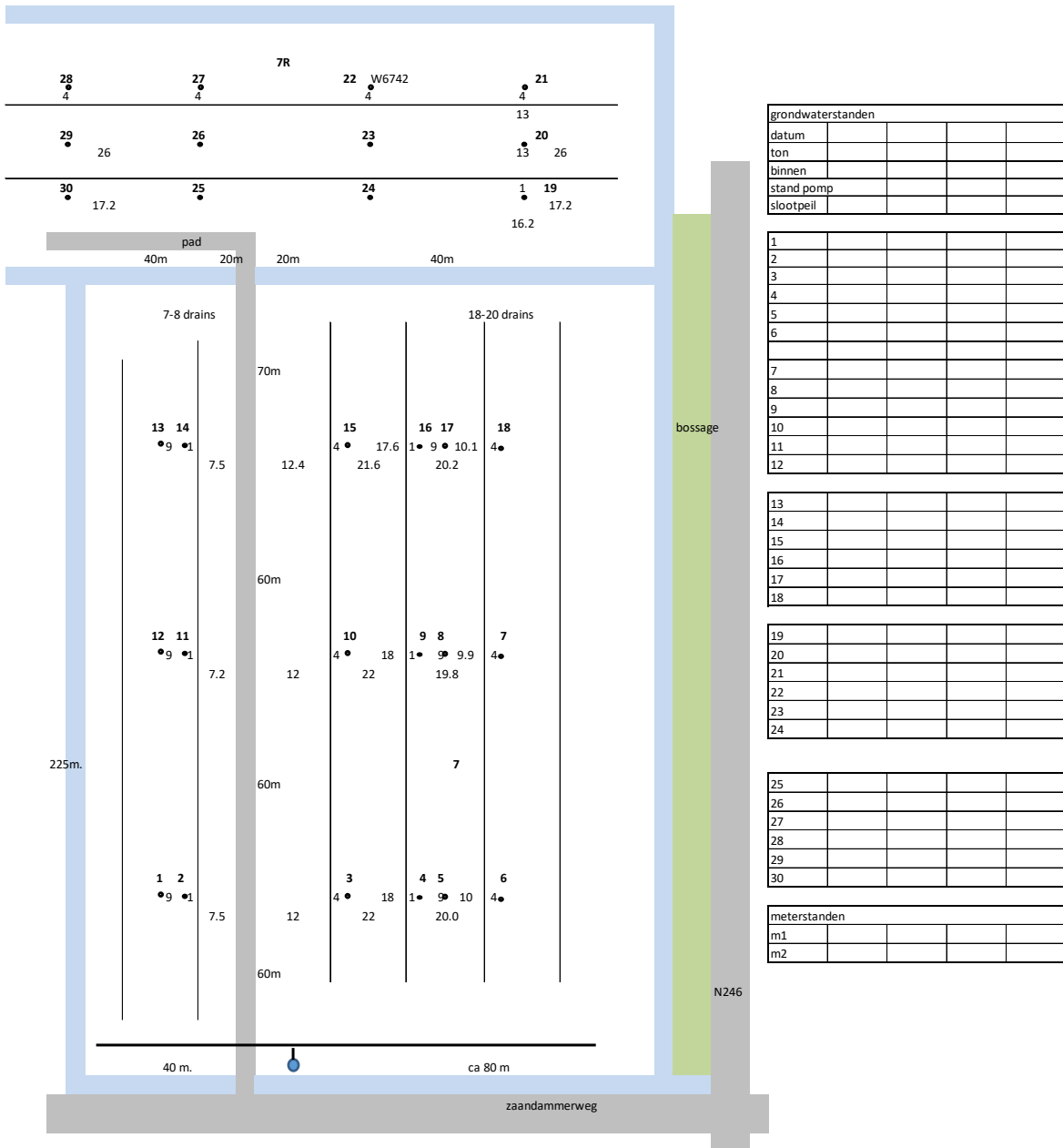
Figuur 6 Plaatsing peilbuizen 'Huiskavel achter' Drukdrains perceel 3-6.

Huiskavel-achter, referentie



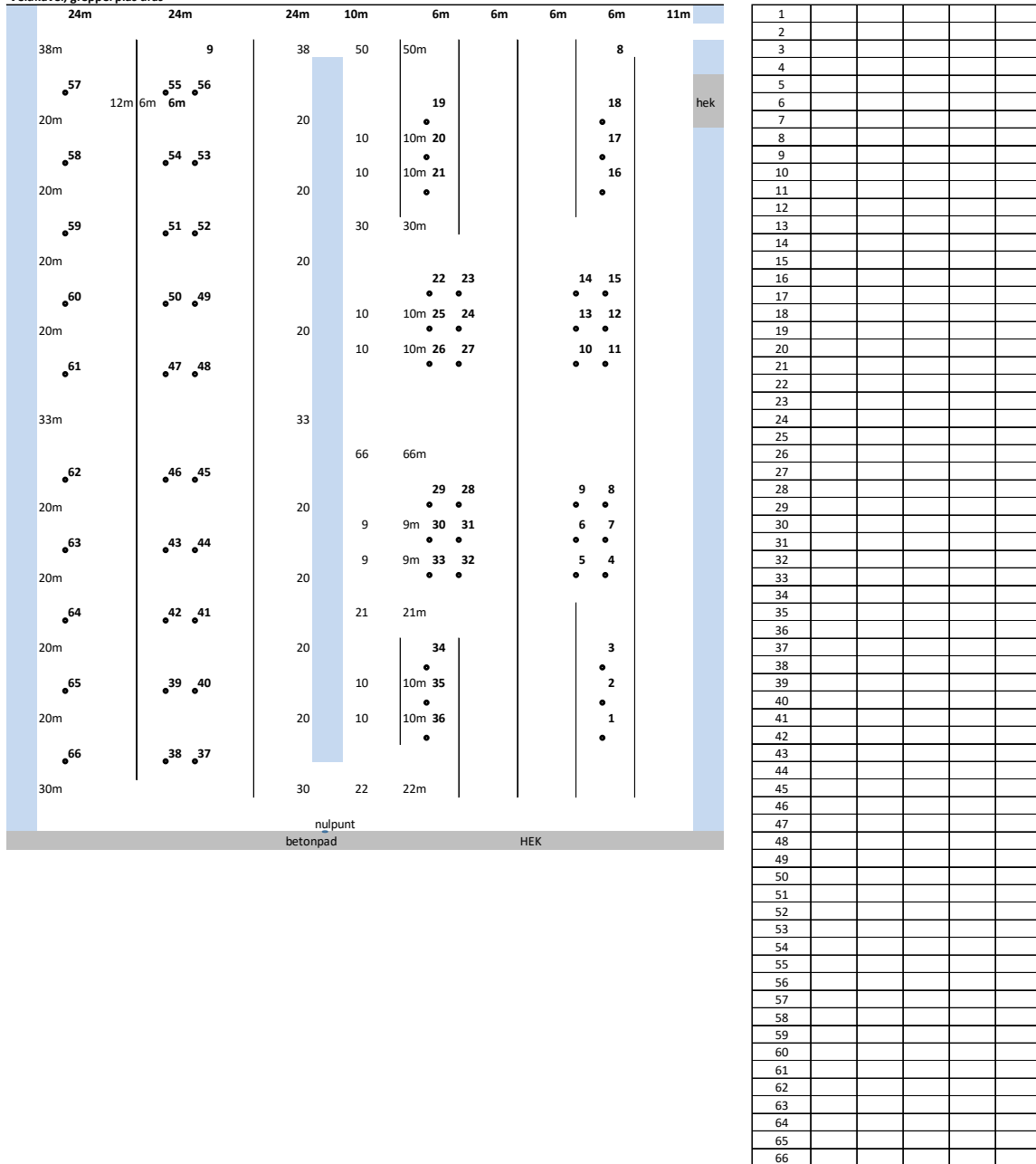
Figuur 7 Plaatsing peilbuizen 'Huiskavel achter' Referentie perceel 4R en 6R.

Veldkavel-achter, niet gedraineerd
 Veldkavel-voor, gedraineerd



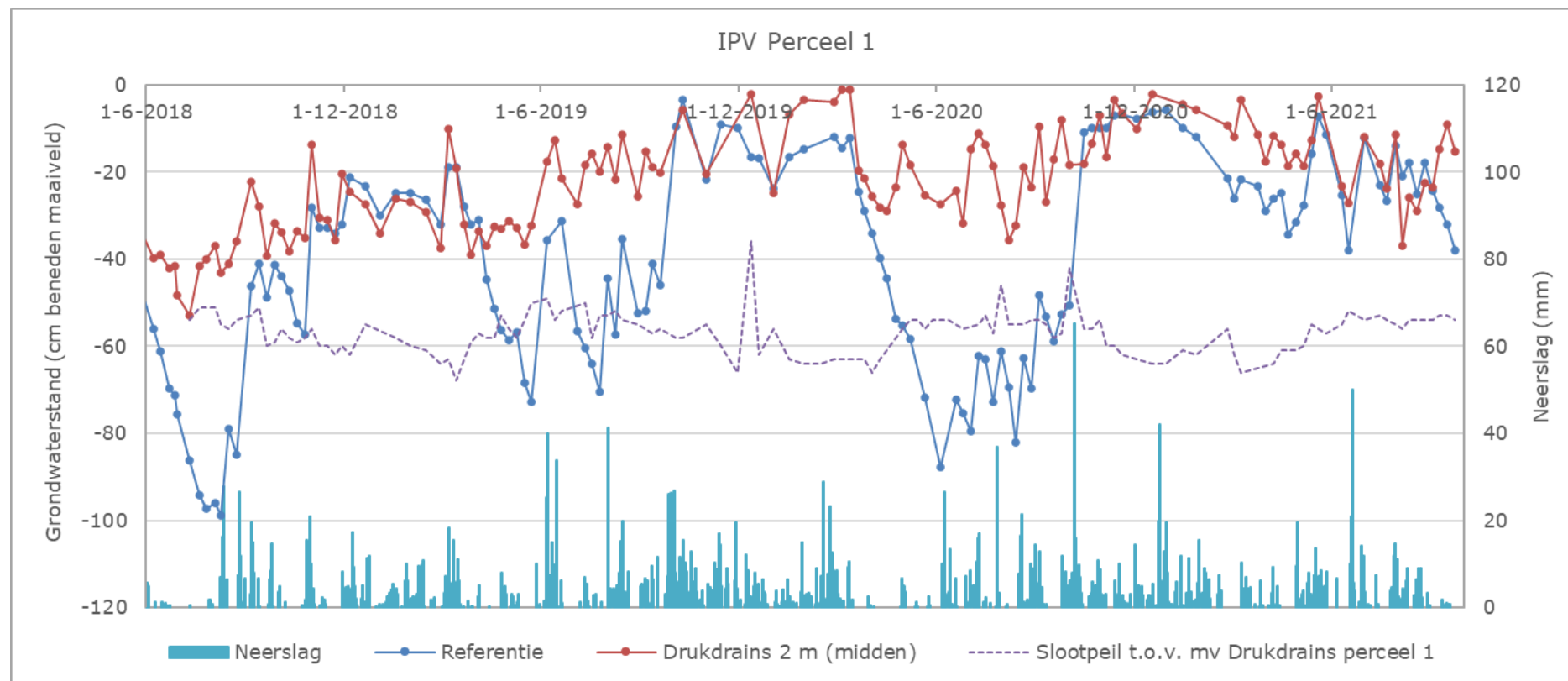
Figuur 8 Plaatsing peilbuizen 'Veldkavel polder Zuiderveen' Referentie en Drukdrains perceel 7.

Veldkavel, greppel plas dras

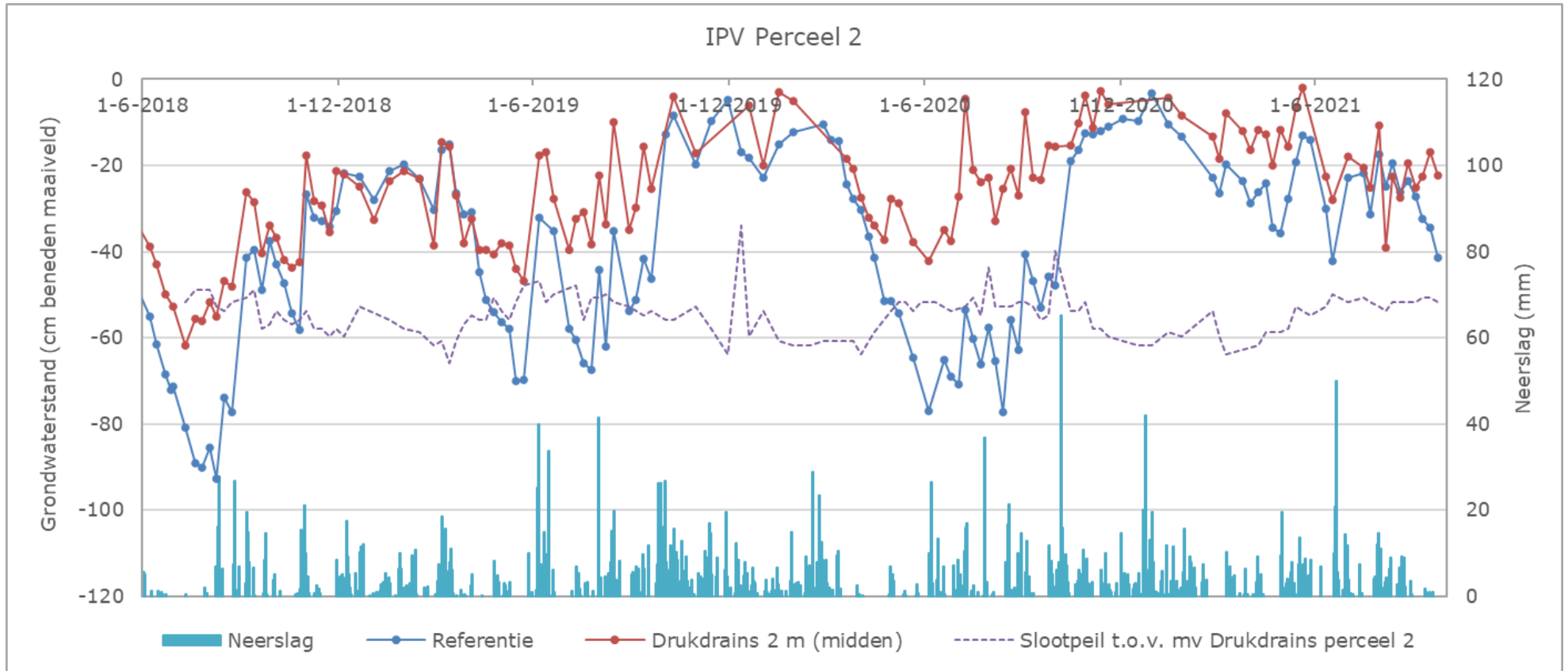


Figuur 9 Plaatsing peilbuizen 'beheerpercelen polder Zuiderveen' Referentie en Greppelinfiltratie perceel 8 en 9.

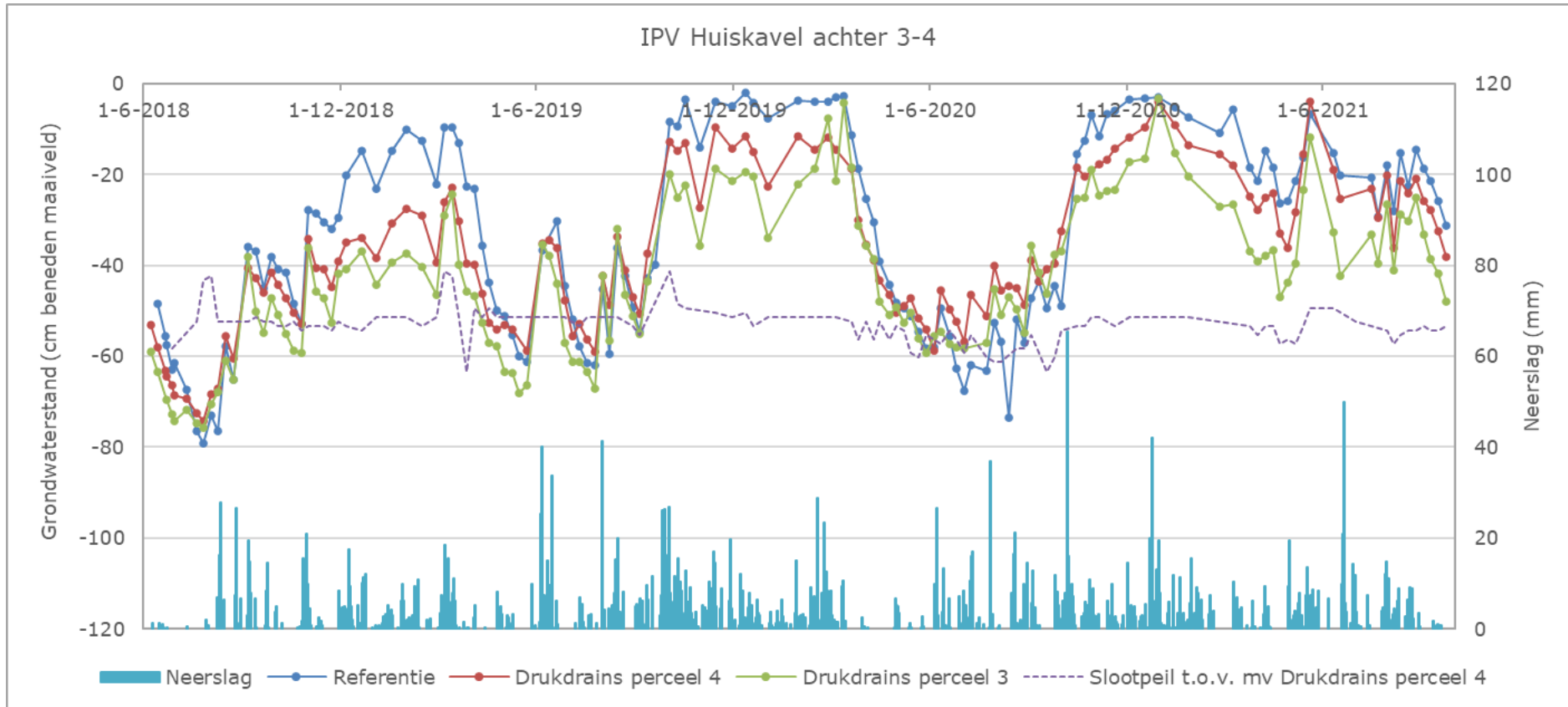
Bijlage 5 Grondwaterstanden Drukdrains



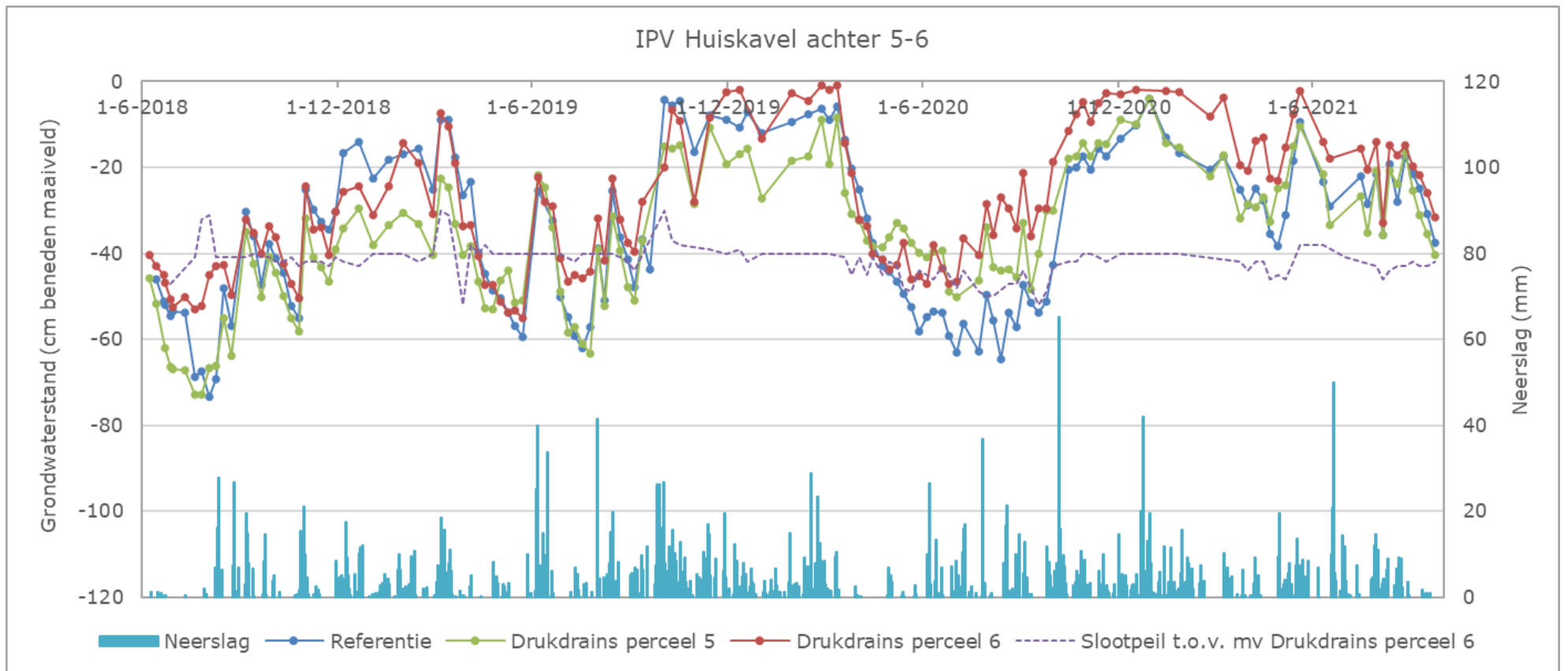
Figuur 10 Grondwaterstandsverloop Referentie en Drukdrains (midden), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) Perceel 1 'Huiskavel voor' 2018-2021. Het slootpeil is weergegeven ten opzicht van het maaiveld (mv) van perceel 1 met Drukdrains.



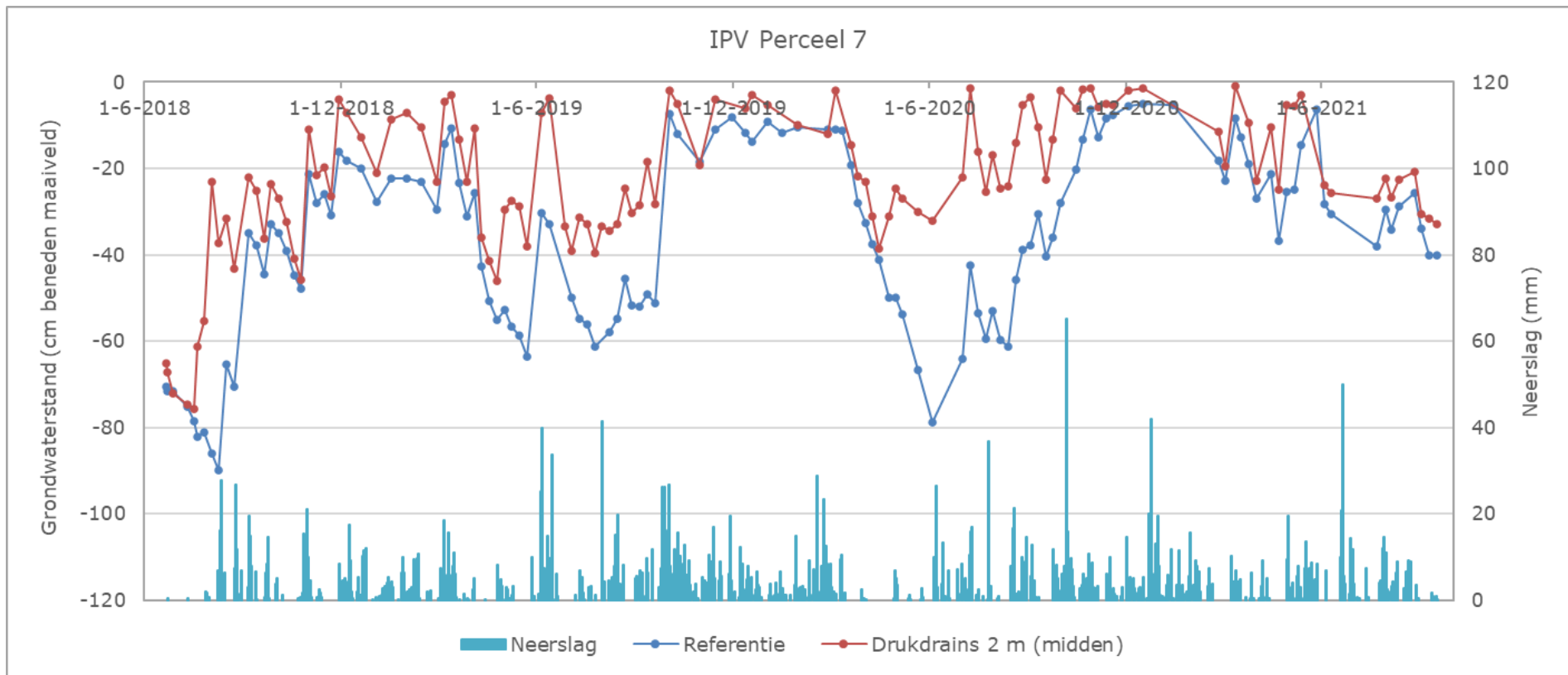
Figuur 11 Grondwaterstandsverloop Referentie en Drukdrains (midden), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) Perceel 2 'Huiskavel voor' 2018-2021. Het slootpeil is weergegeven ten opzicht van het maaiveld (mv) van perceel 2 met Drukdrains.



Figuur 12 Grondwaterstandsverloop Referentie en Drukdrains (midden), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) Perceel 3-4 'Huiskavel achter 1' 2018-2021. Het slootpeil is weergegeven ten opzicht van het maaiveld (mv) van perceel 4 met Drukdrains.

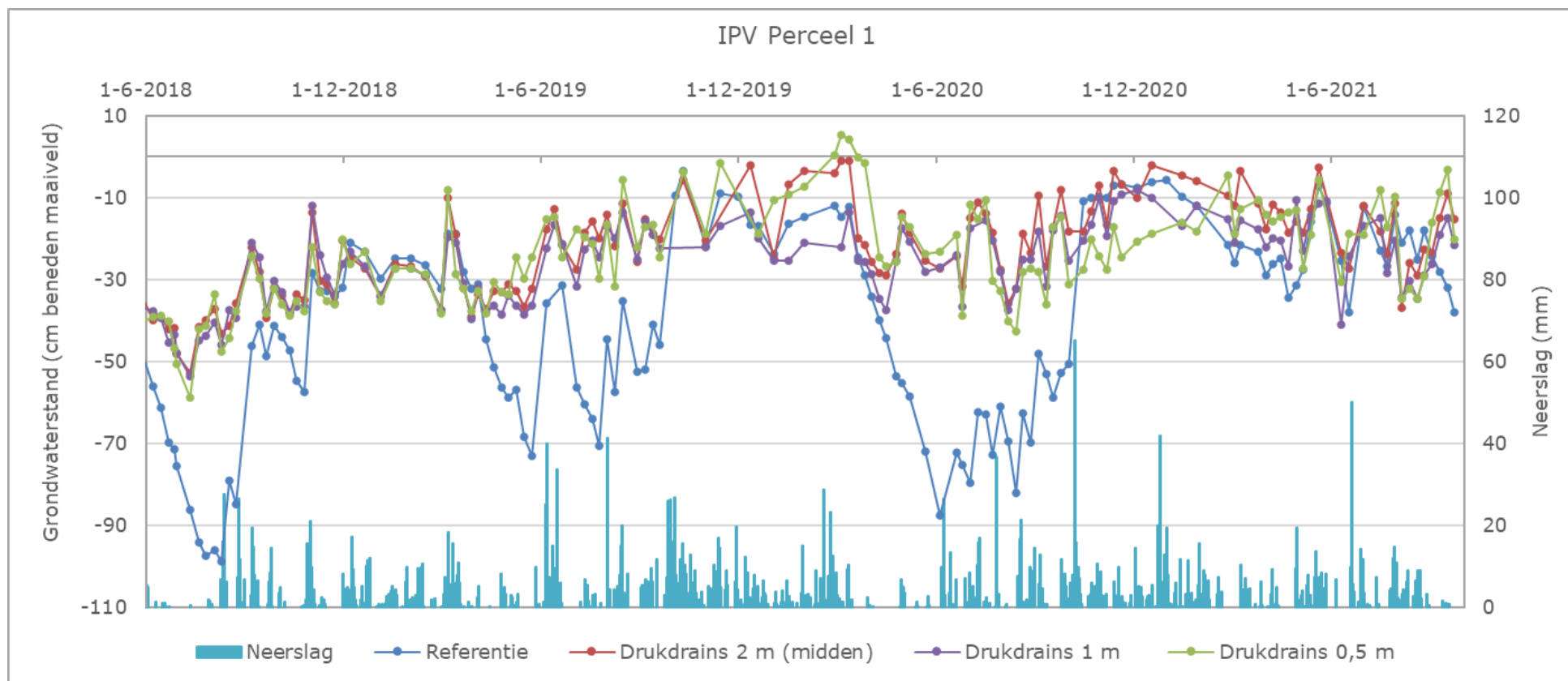


Figuur 13 Grondwaterstandsverloop Referentie en Drukdrains (midden), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) Perceel 5-6 'Huiskavel achter 2' 2018-2021. Het slootpeil is weergegeven ten opzicht van het maaiveld (mv) van perceel 6 met Drukdrains.

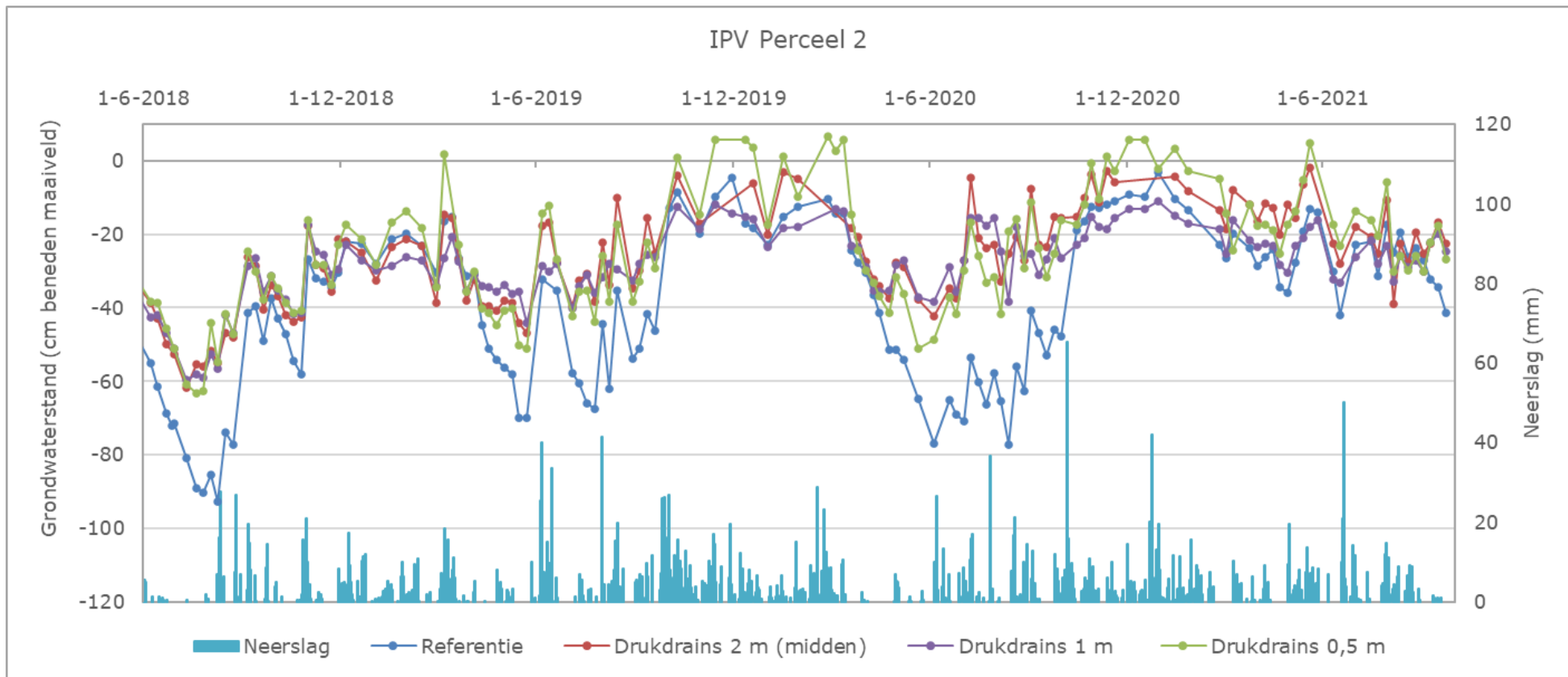


Figuur 14 Grondwaterstandsverloop Referentie en Drukdrains (midden), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) Perceel 7 'Veldkavel' 2018-2021.

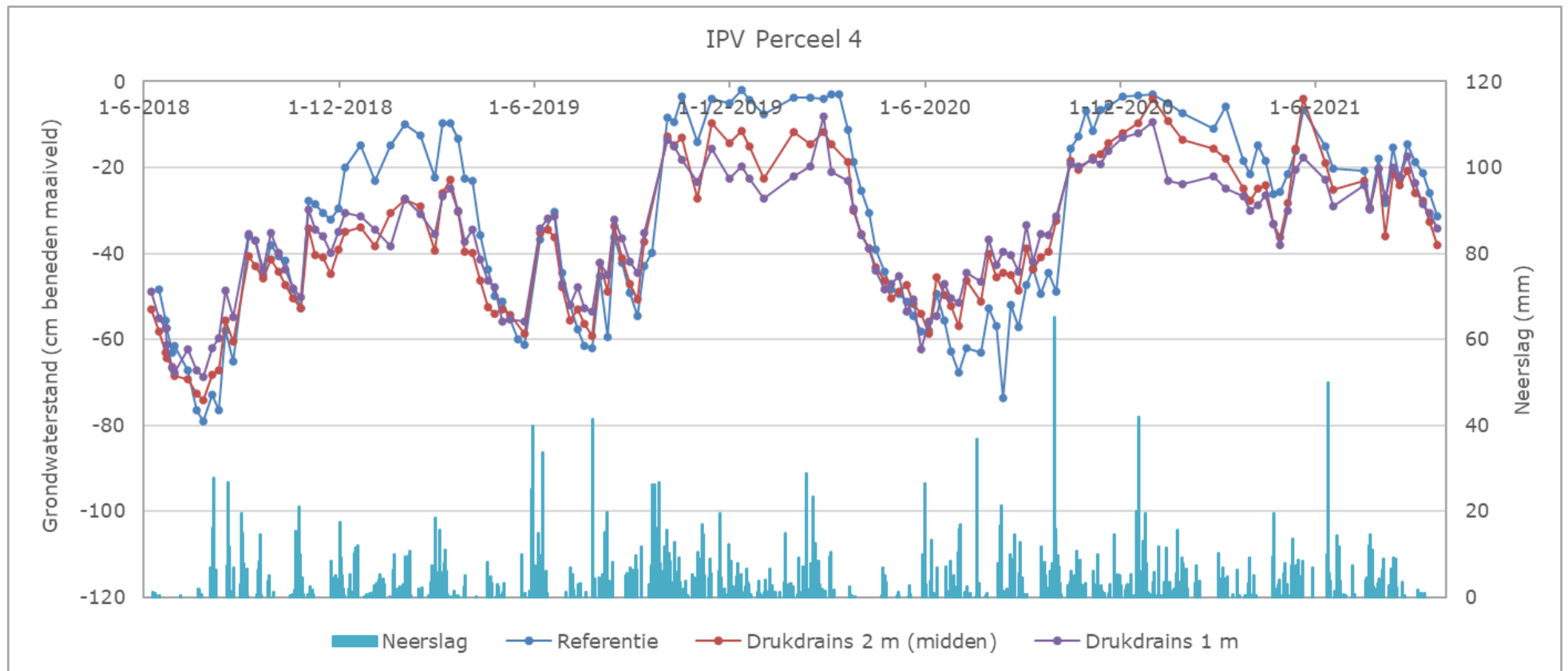
Bijlage 6 Grondwaterstanden op 0,5 en 1 m afstand van de drain



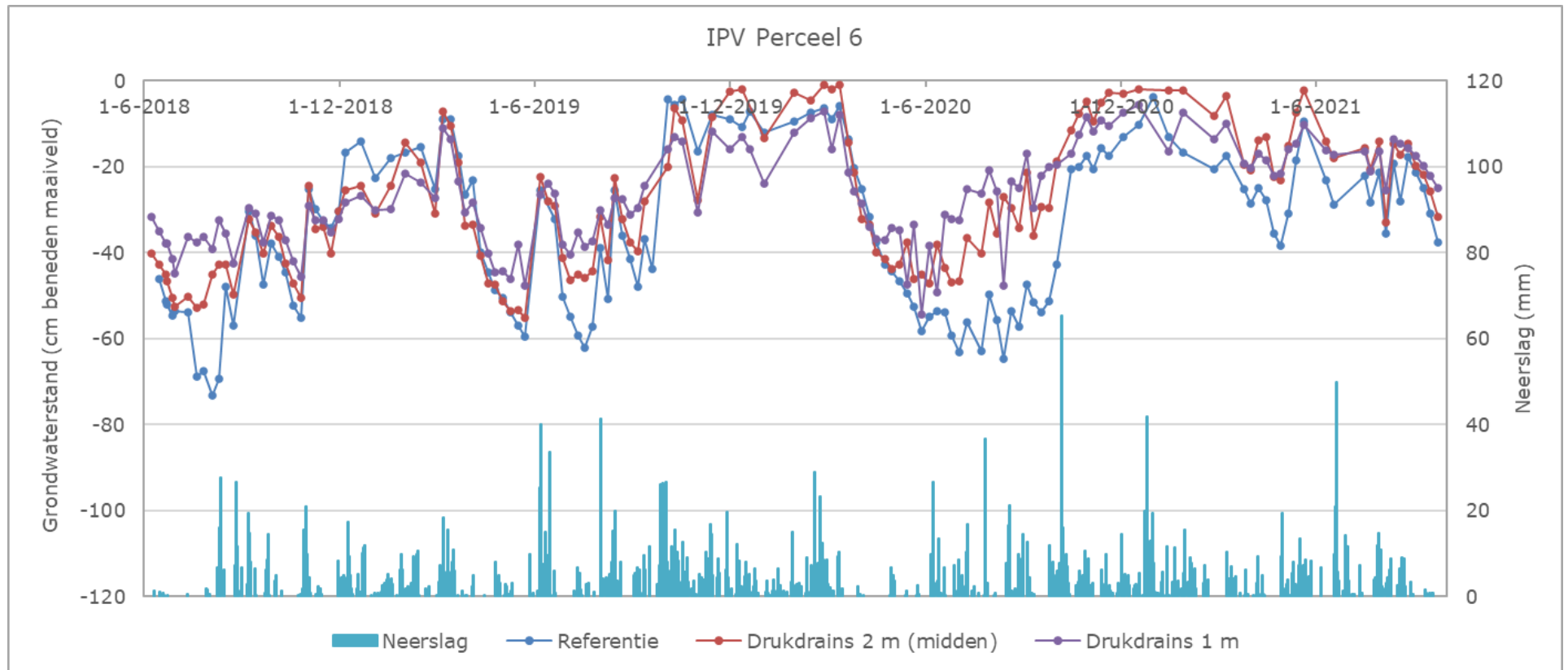
Figuur 15 Grondwaterstandsverloop Referentie en Drukdrains (2, 1 en 0,5 m), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) Perceel 1 'Huiskavel voor' 2018-2021.



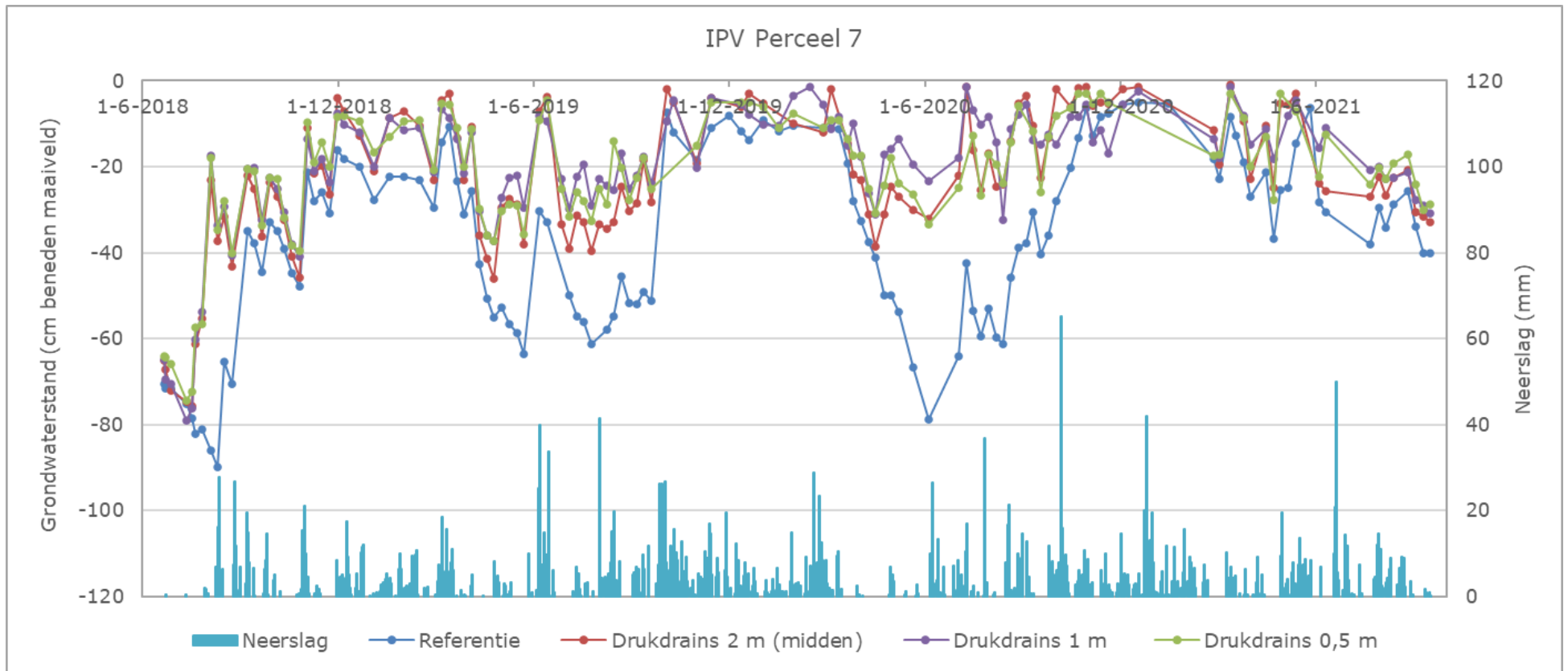
Figuur 16 Grondwaterstandsverloop Referentie en Drukdrains (2, 1 en 0,5 m), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) Perceel 2 'Huiskavel voor' 2018-2021.



Figuur 17 Grondwaterstandsverloop Referentie en Drukdrains (2, 1 en 0,5 m), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) Perceel 4 'Huiskavel achter 1' 2018-2021.

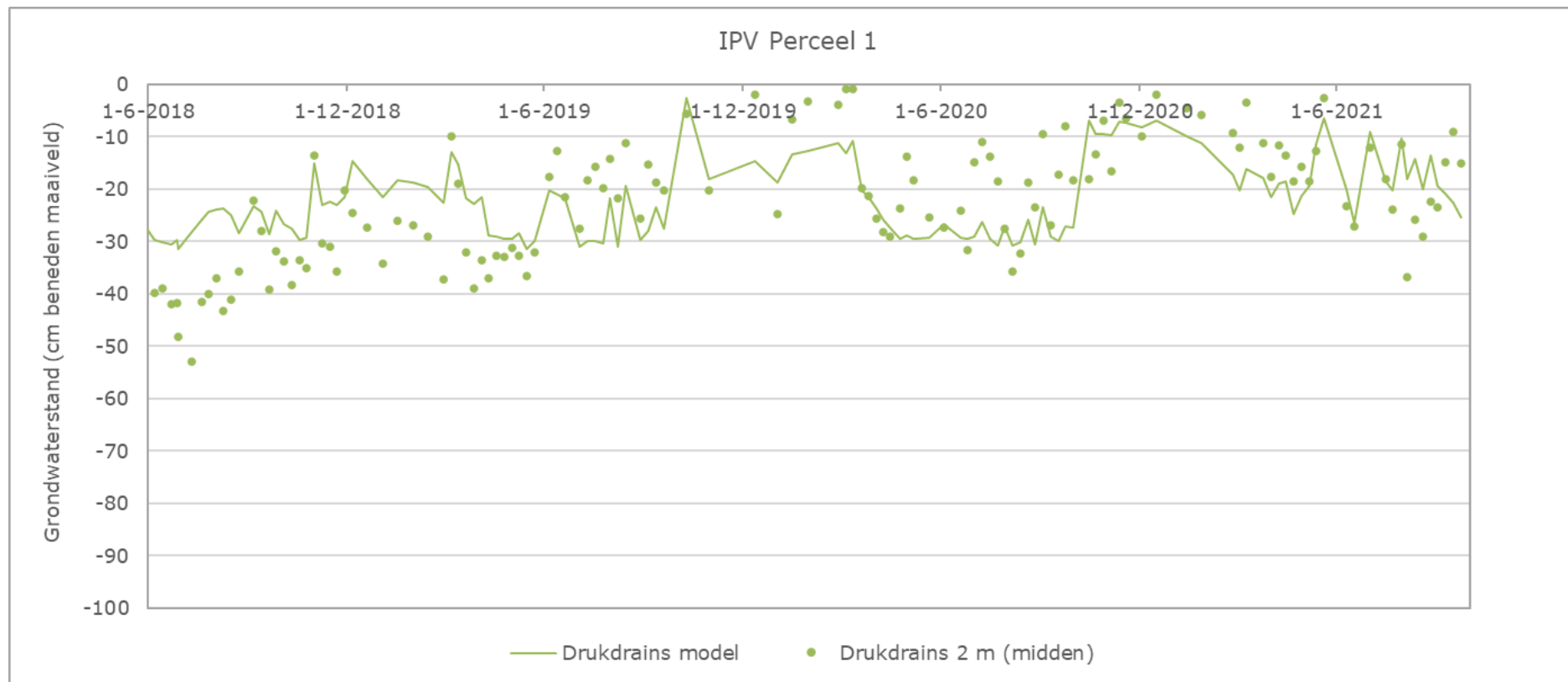


Figuur 18 Grondwaterstandsverloop Referentie en Drukdrains (2, 1 en 0,5 m), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) Perceel 6 'Huis-kavel achter 2' 2018-2021.

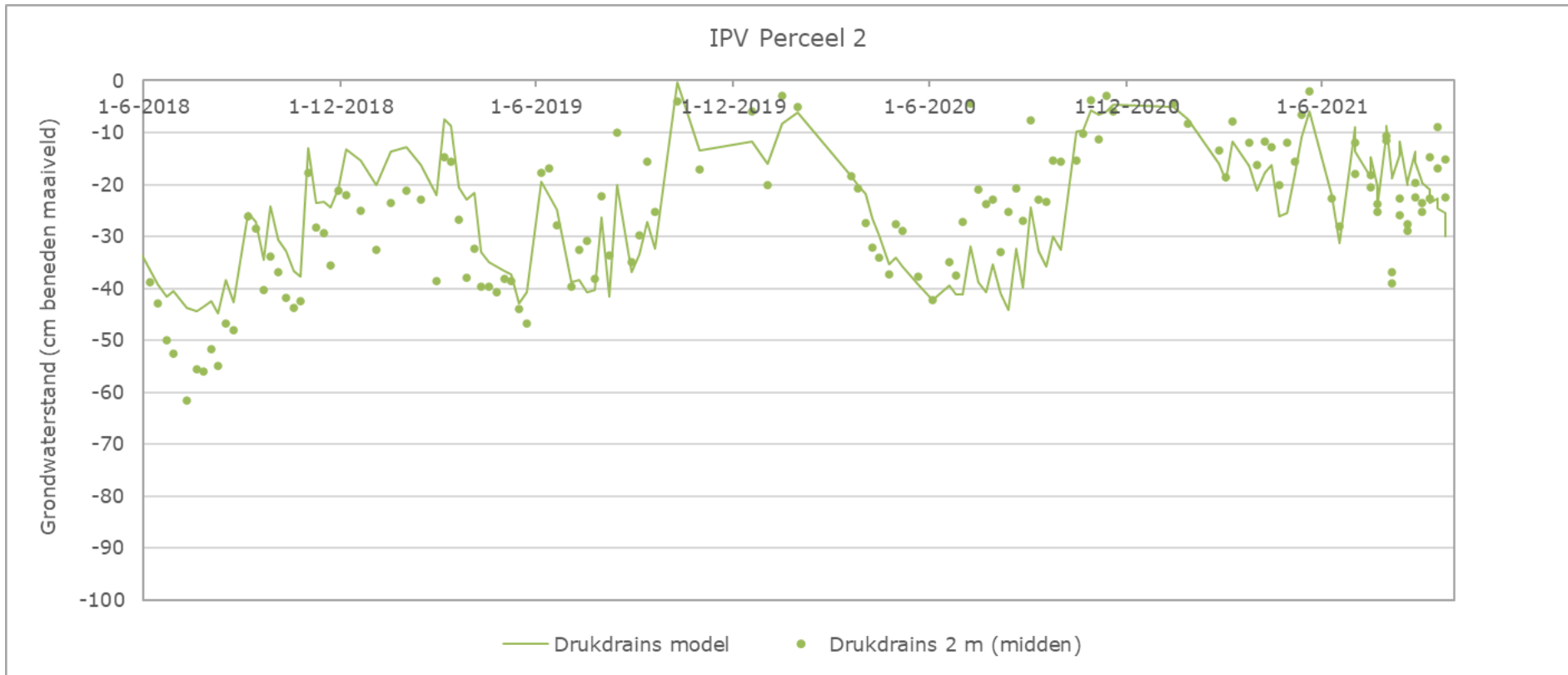


Figuur 19 Grondwaterstandsverloop Referentie en Drukdrains (2, 1 en 0,5 m), slootpeilverloop en neerslag (KNMI station 263) Perceel 7 'Veldkavel' 2018-2021.

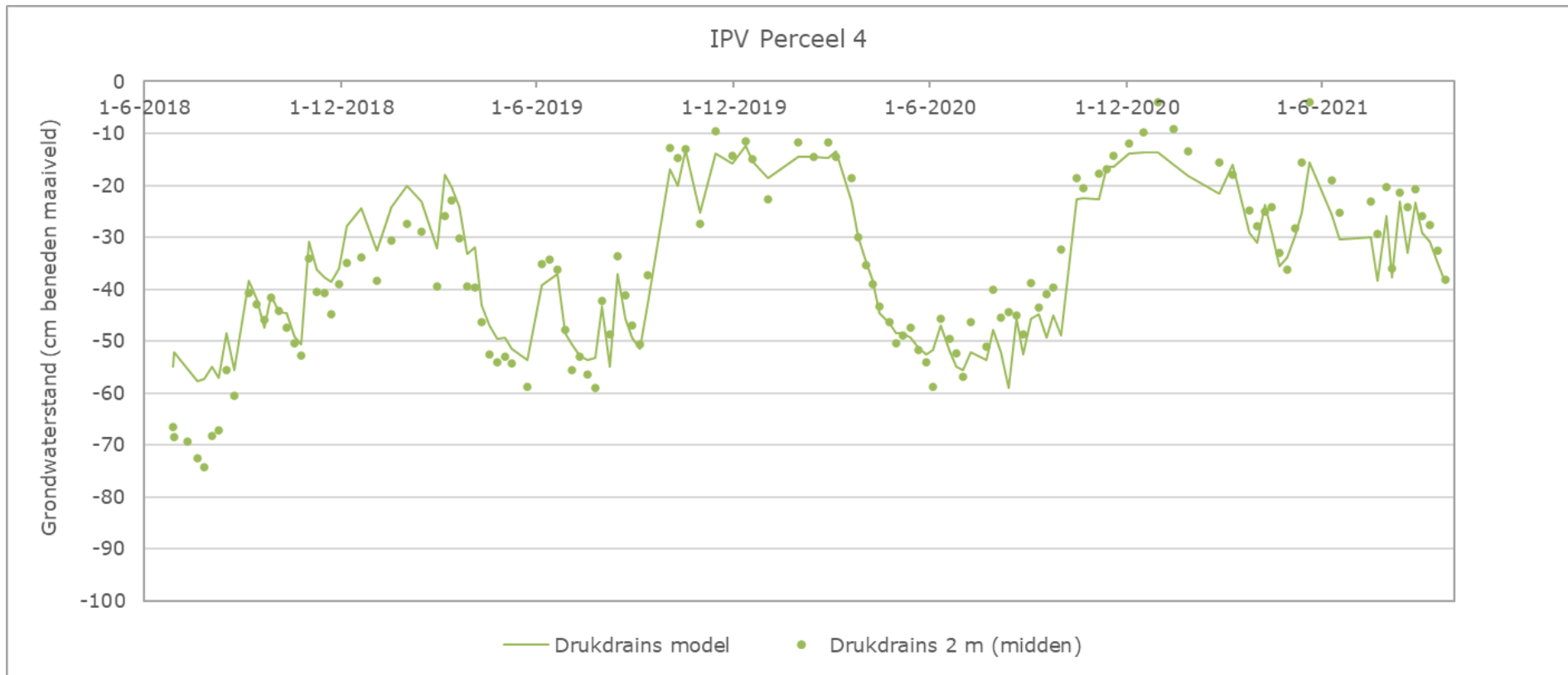
Bijlage 7 Modelfit Drukdrains



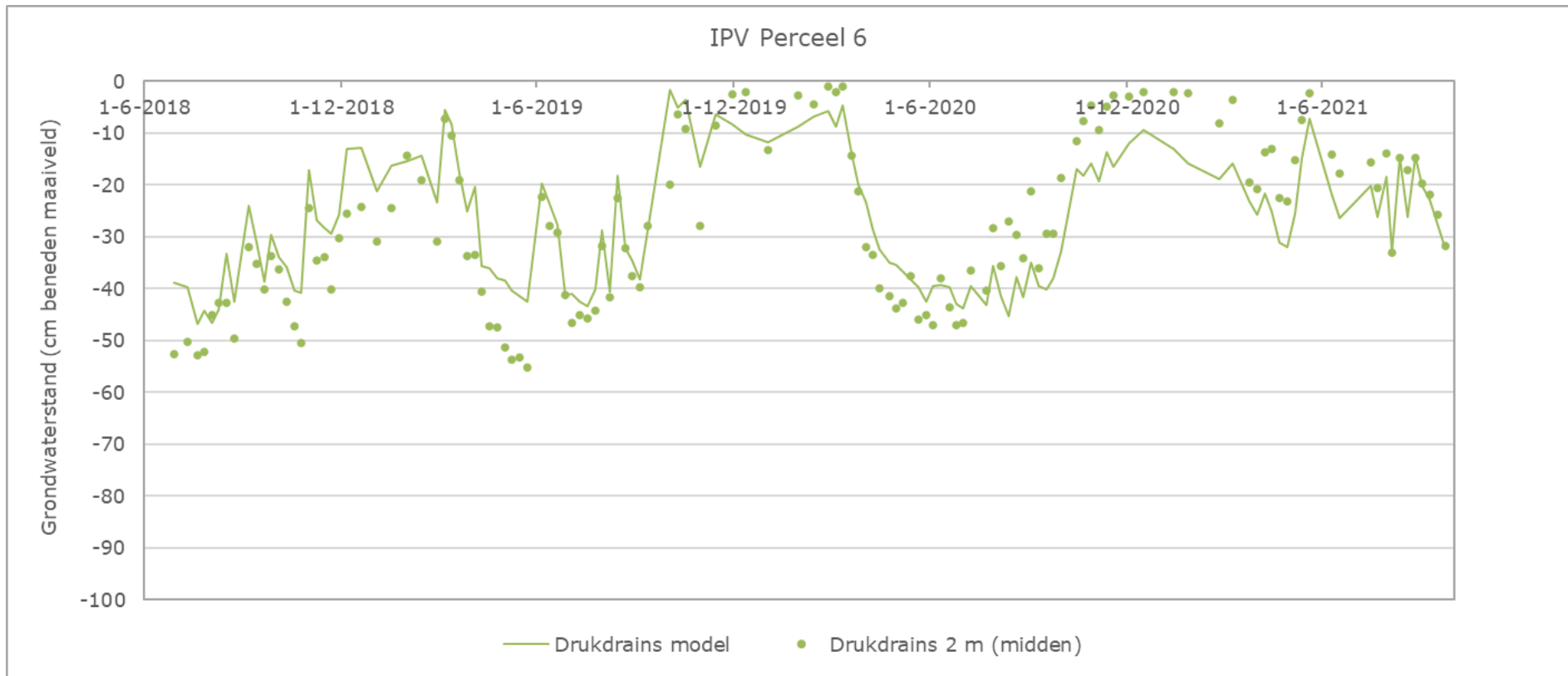
Figuur 20 Grondwaterstandsverloop Drukdrains Model en Drukdrains gemeten (midden tussen drains) Perceel 1 'Huiskavel voor' 2018-2021.



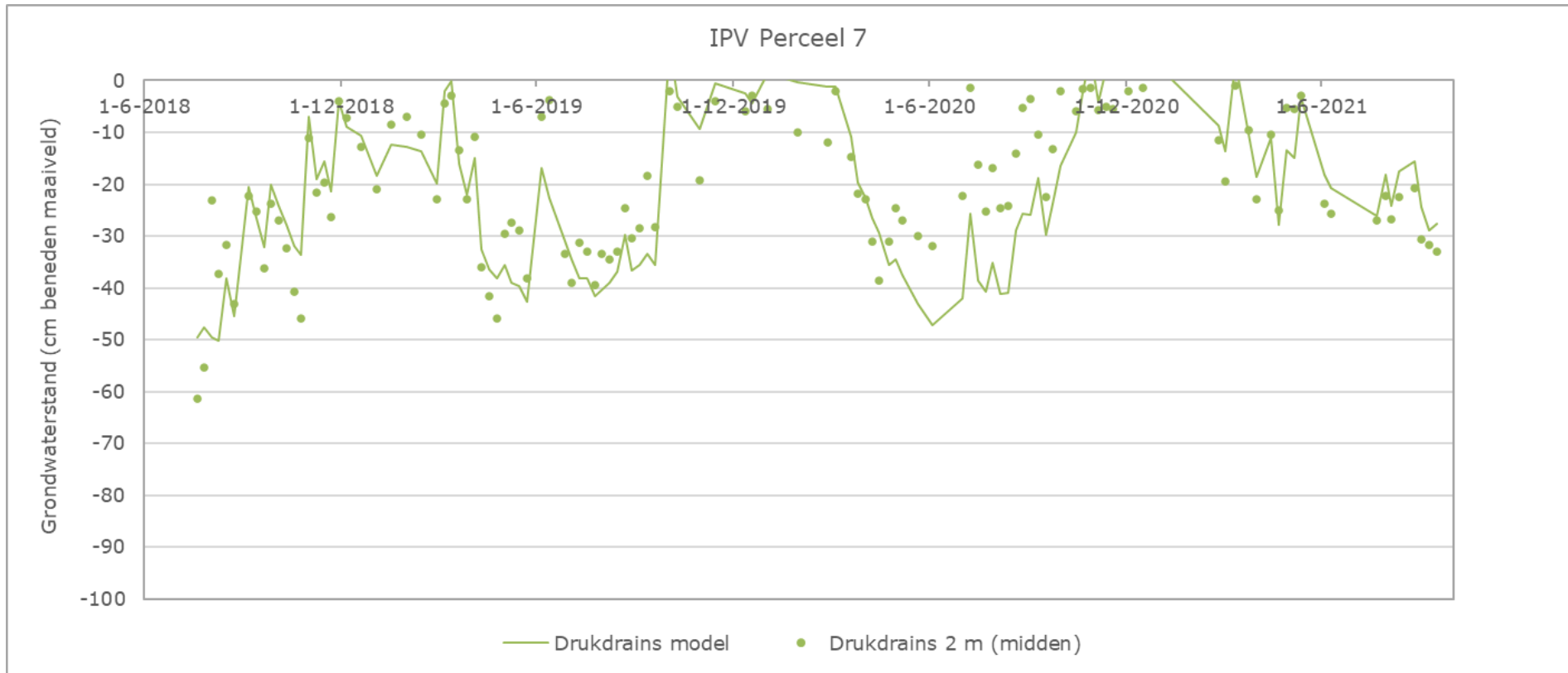
Figuur 21 Grondwaterstandsverloop Drukdrains Model en Drukdrains gemeten (midden tussen drains) Perceel 2 'Huiskavel voor' 2018-2021.



Figuur 22 Grondwaterstandsverloop Drukdrains Model en Drukdrains gemeten (midden tussen drains) Perceel 4 'Huiskavel achter 1' 2018-2021.



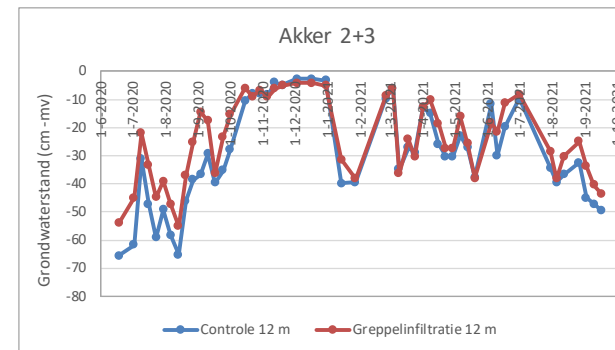
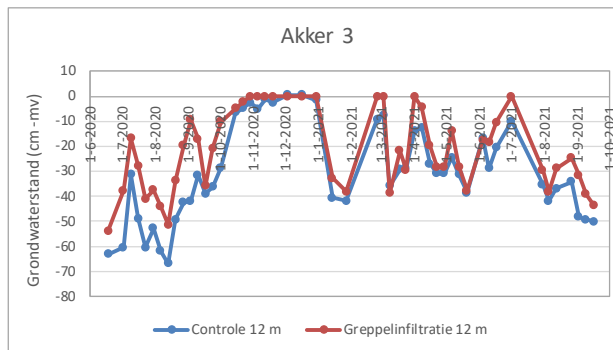
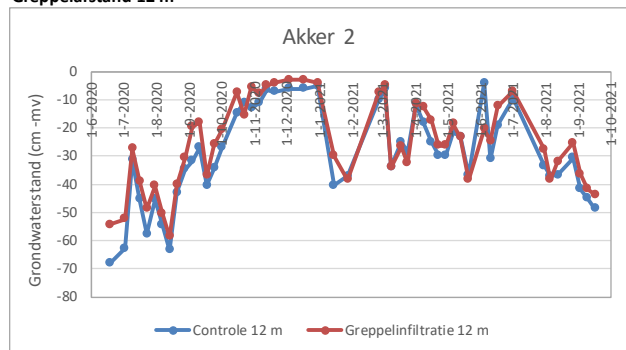
Figuur 23 Grondwaterstandsverloop Drukdrains Model en Drukdrains gemeten (midden tussen drains) Perceel 6 'Huiskavel achter 2' 2018-2021.



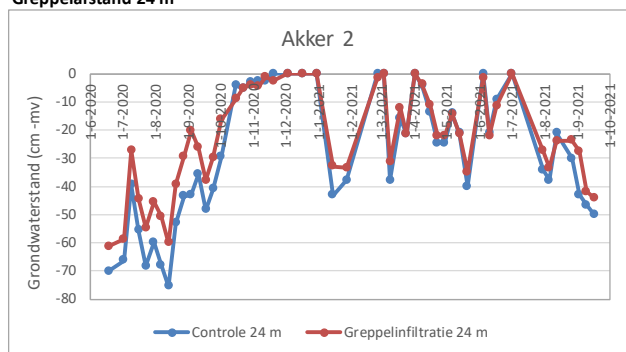
Figuur 24 Grondwaterstandsverloop Drukdrains Model en Drukdrains gemeten (midden tussen drains) Perceel 7 'Veldkavel' 2018-2021.

Bijlage 8 Grondwaterstanden greppelinfiltratie

Greppelafstand 12 m



Greppelafstand 24 m



Figuur 25 Grondwaterstanden greppelinfiltratie van 18-6-2020 tot 16-9-2021 gemeten op een kwart van de akker voor greppelafstand 12 m gemiddeld per akker en over beide akkers en voor greppelafstand 24 m gemiddeld voor akker 2.

Bijlage 9 Draagkracht graszode

Tabel 3 Draagkrachtmetingen oktober 2020

	Row Labels	2 akker	2 greppel	2R akker	2R greppel	4 akker	4 greppel	4R akker	4R greppel	7 akker	7 greppel	7R akker	7R greppel	8 akker	8 greppel	8R akker	8R greppel
0-10	30-sep	0.56	0.65	0.95	0.88	0.86	0.73	0.84	0.73	0.69	0.29	0.63	0.65	0.55	0.56	0.74	0.56
	1-okt	0.70	0.63	0.81	0.64	1.03	0.59	0.89	0.63	0.61	0.39	0.60	0.85	0.61	0.72	0.69	0.54
	2-okt	0.78	0.59	0.90	0.82	0.87	0.60	0.74	0.59	0.58	0.28	0.72	0.61	0.59	0.49	0.70	0.65
10-20	30-sep	0.81	0.69	1.45	0.97	1.42	0.77	1.35	0.81	0.72	0.31	0.99	0.78	0.73	0.68	1.08	0.52
	1-okt	0.81	0.70	1.53	0.68	1.71	0.67	1.45	0.67	0.68	0.27	0.92	0.79	0.85	0.68	0.96	0.52
	2-okt	0.88	0.60	1.49	0.86	1.43	0.75	1.33	0.60	0.65	0.30	0.86	0.72	0.84	0.59	0.98	0.55
20-30	30-sep	0.79	0.61	1.21	0.63	1.01	0.61	1.03	0.57	0.61	0.30	0.83	0.52	0.77	0.57	0.85	0.38
	1-okt	0.79	0.54	1.35	0.50	1.34	0.54	1.07	0.46	0.61	0.30	0.81	0.71	0.78	0.59	0.79	0.39
	2-okt	0.75	0.51	1.14	0.55	1.23	0.59	1.05	0.43	0.61	0.30	0.76	0.65	0.81	0.56	0.76	0.41

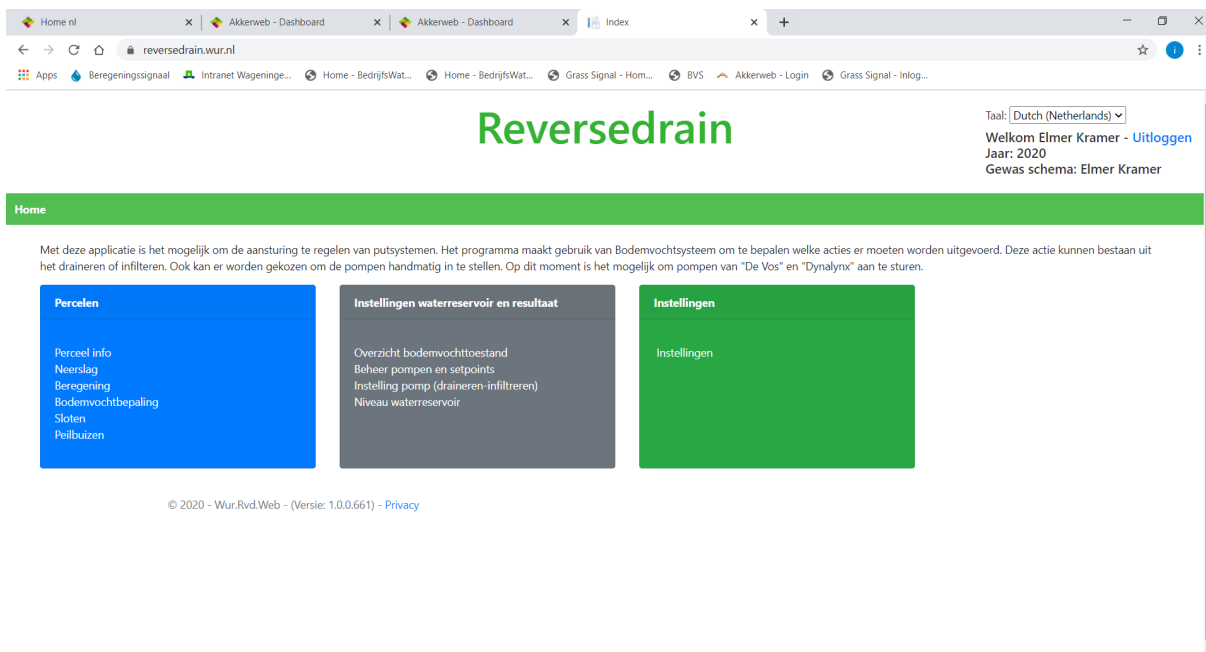
Bijlage 11 Botanische samenstelling

Tabel 5 Botanische samenstelling per proefperceel per proefjaar.

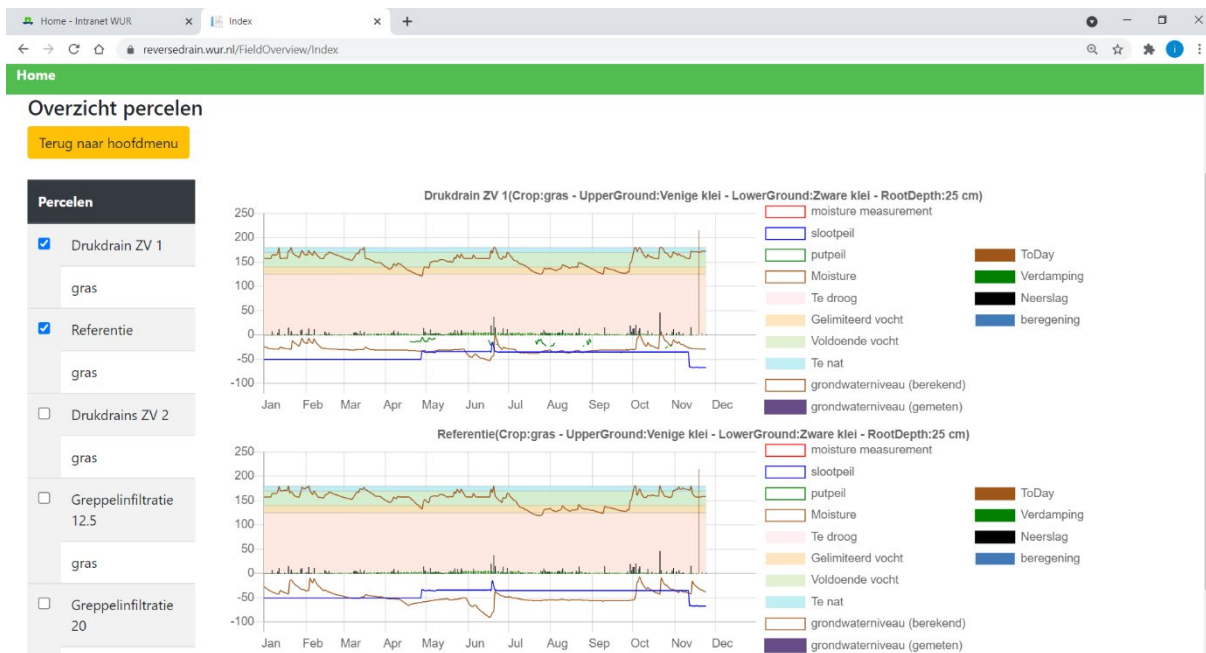
Perceel	2018				2019				2020				2021			
	C 1	D2	C3	D4	C 1	D2	C3	D4	C 1	D2	C3	D4	C 1	D2	C3	D4
Grootte	4.9	4.1	7.0	5.5	4.9	4.1	7	5.5	4.9	4.1	7	5.5	4.9	4.1	7	5.5
Bedekking %	98	98	98	95	98	98	98	95	98	98	98	95	98	98	98	98
Engels raaigras	70	74	71	65	70	74	76	66	71	75	78	72	70	78	73	72
Italiaans raaigras																
timotheegras	+	+		+	+	+		+	+	+		+	+	+		+
veldbeemdgras	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
beemdlangbloem	+	+			+	+			+	+			+	+		
rietzwenkgras																
witte klaver		+				+				+				+		
ruw beemdgras	15	12	18	15	15	12	12	15	15	12	10	11	16	10	14	11
kweek	2	3	1	2	3	3	1	2	3	3	1	2	3	2	1	2
fioringras	3	3	2	6	3	3	2	6	3	3	2	6	3	3	2	6
gestreepte witbol	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	3	3	1	1	3	3
straatgras	5	4	5	6	4	4	5	6	3	3	4	3	3	3	5	3
geknikte vossenstaart	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
grote vossenstaart	+				+				+				+			
kroppaar																
ruwe smele																
mannagrass																
zachte dravik	+	+		+	+	+		+	+	+		+	+	+		+
mannagrass	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
rietgras																
varkensgras				+				+				+				+
vogelmuur	2	2	1	4	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3
paardebloem	1	1	+	+	1	1	+	+	1	1	+	+	1	1	+	+
ridderzuring	+	+			+	+			+	+			+	+		
krulzuring			+	+		+	+	+		+	+	+		+	+	+
veldzuring				+				+				+				+
herderstasje	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
melganzevoet																
kruijpende boterbloem	1	+	+	+	1	+	+	+	1	+	+	+	1	+	+	+
scherpe boterbloem	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
grote weegbree	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
speenkruid		+		+		+		+		+		+		+		+
paarse dovenetel		+	+	+		+	+	+		+	+	+		+	+	+
zachte ooievaarsbek																
paarse dovenetel																
gewone hoornbloem		+				+				+				+		

Perceel	2018				2019				2020				2021			
	C 1	D2	C3	D4	C 1	D2	C3	D4	C 1	D2	C3	D4	C 1	D2	C3	D4
madeliefje				+				+				+				+
zwaluwtong																
biggenkruid																
kleine vogelkers																
akkerdistel																
hondsdrif	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
brandnetel	+				+				+				+			
akkerereprijs																
gekroesde melkdistel																
zwarte nachtschade																
blaartrekkende boterbloem		+		+		+		+		+		+		+		+

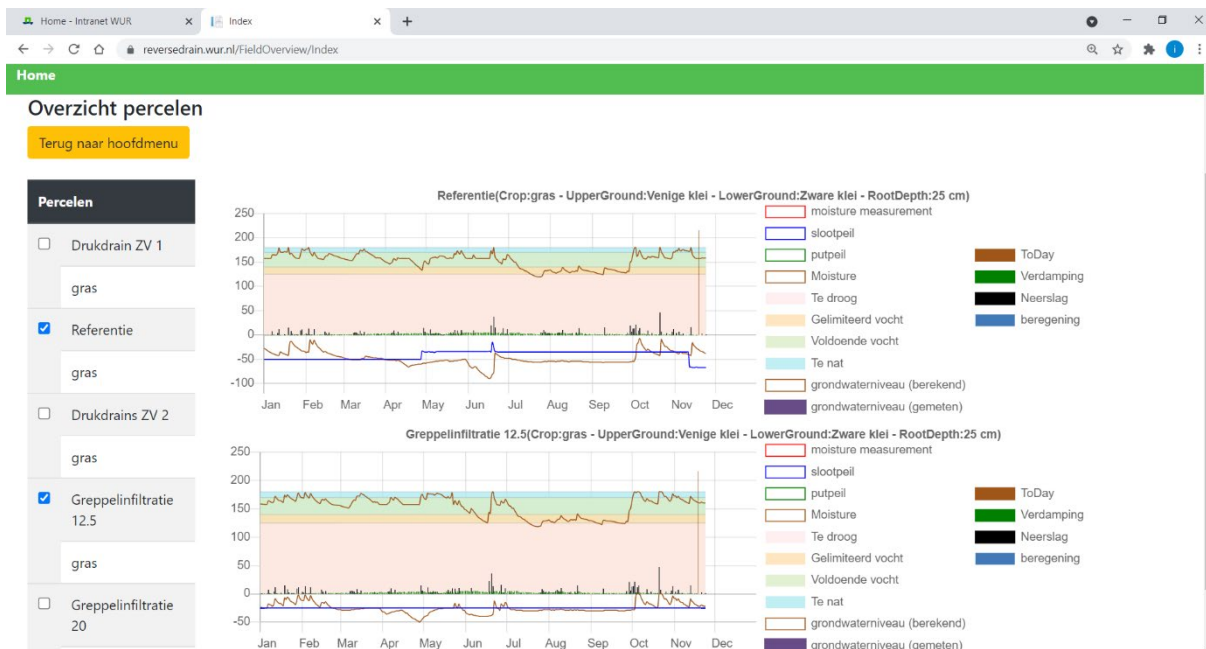
Bijlage 12 App aansturing drukdrains



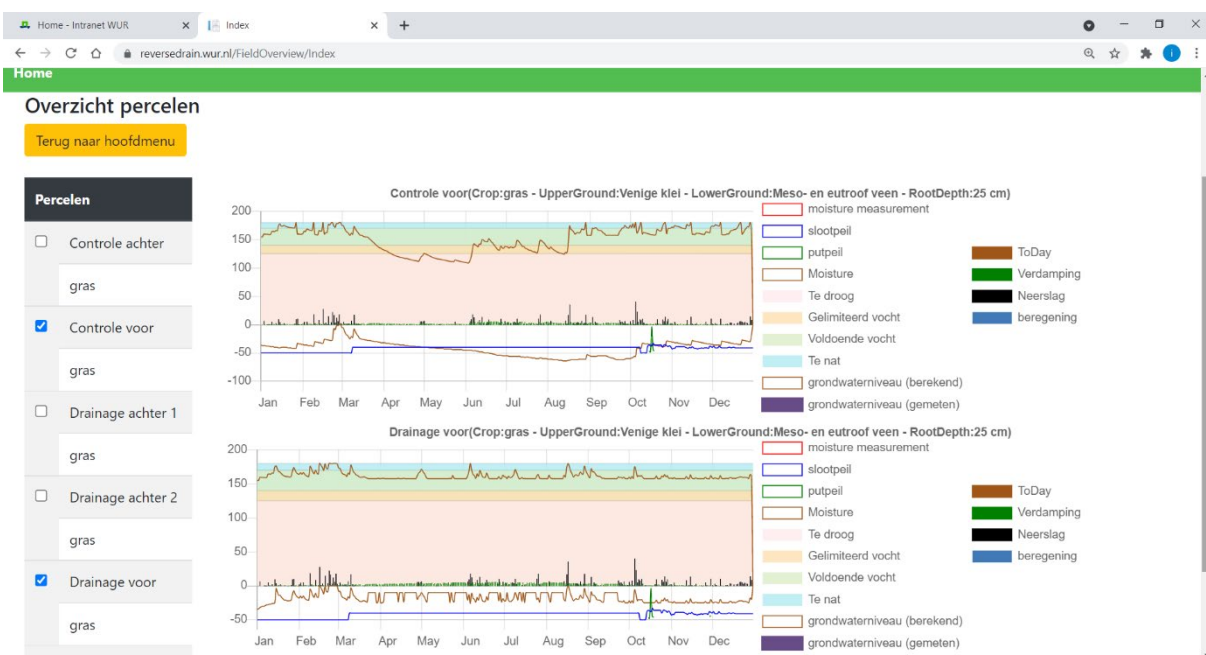
Figuur 26 Screenshot van het hoofdscherm van het prototype webapplicatie Reverse Drain



Figuur 27 Screenshot simulatie bodemvochtgehalte en grondwaterstand met (boven) en zonder onder Drukdrains perceel 7 (polder Zuiderveen) 2020.



Figuur 28 Screenshot simulatie bodemvochtgehalte en grondwaterstand met (boven) en zonder onder Greppelinfiltratie 12 m perceel 8 (polder Zuiderveen) 2020.



Figuur 29 Screenshot simulatie bodemvochtgehalte en grondwaterstand met (onder) en zonder (boven) Drukdrains perceel 1 (pilotbedrijf Assendelft) 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
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.

