

Regelbare drainage met subirrigatie en hogere slootpeilen in regio Alblasserwaard-Vijfheerenlanden

Realisatie van hogere grondwaterstanden ter
reductie van maaiveldddaling in veenweidegebieden

Gé van den Eertwegh en Dion van Deijl

Tussenrapportage 2022 – definitief

Datum: 21-12-2022

Opdrachtgevers: Provincie Zuid-Holland, Provincie Utrecht,
Regionale Maatschappelijke Agenda (RMA) regio Alblasserwaard
Vijfheerenlanden

Projectleiding: Rolia Wiggelinkhuijsen/Stichting Blauwzaam

Samenvatting

De meeste bodems in de regio Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden kennen in meer of mindere mate een langjarige bodemdaling, emissie van broeikasgassen naar de lucht en verliezen van nutriënten naar het grond- en oppervlaktewater. Het landschap en de verkaveling verdient aandacht via duurzaam gebruik en beheer voor en door landbouw, recreatie en natuur. Regelbare drainage met subirrigatie kan een deel van de oplossing zijn voor bodem- en waterproblemen. We willen daarom met deze systemen in de praktijk ervaring opdoen in de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden. De bodemopbouw van het veen met een kleidek in de gebieden wijkt af van toepassingen elders in het veenweidegebied van Nederland van deze systemen tot nu toe. Dat maakt dit project en de proeven bij de drie betrokken agrariërs uniek, omdat we de werking en effecten gaan onderzoeken door te meten en te duiden.

Onze doelen zijn als volgt:

- *Wij passen regelbare drainage met subirrigatie en verhoogde slootpeilen toe bij klei-op-veengronden;*
- *We willen technisch-inhoudelijk grip op de werking van het systeem krijgen door drie veldproeven uit te voeren;*
- *We willen het beheer van het systeem stapsgewijs opbouwen en uiteindelijk sturen op: bodembeweging (op de middellange termijn bodemdaling), biodiversiteit, weidevogels en waterkwaliteit. We voeren veldproeven daarom uit in combinatie met hogere slootwaterpeilen, zodat er doelen te behalen in het watersysteem op het vlak van biodiversiteit, weidevogels en de KRW.*

We leveren met of zonder succes van de veldproeven feitelijke informatie en kennis aan voor het al dan niet uitrollen van regelbare drainage met subirrigatie en aangepaste slootpeilen in de regio.

We hebben de systemen eind 2020 aangelegd en zijn er actief mee bezig sinds 2021. We rapporteren onze bevindingen tot begin oktober 2022. Deze zijn als volgt.

De drie aangelegde systemen van regelbare drainage en pompsystemen werken naar behoren, incl. de aangepaste vlotters. Deze zorgen voor een meer constant en hoger (hoog)waterpeil in de regelputten in 2022 dan in 2021 in periodes zonder neerslag. De monitoring werkt veelal prima, al hadden we uitval van een aantal sensoren vanwege fabrieksfouten. De vele waarnemingen via inzet van de meetapparatuur zijn waardevol en onderling consistent. De bediening systemen en inzet van greppels, i.c. dicht laten of open zetten, tijdens met name bij hoogwater blijft punt van aandacht. Regelbare drainage met subirrigatie vraagt aandacht, zorg, beheer en onderhoud. De effecten ervan vallen of staan met de bediening van de systemen. Monitoring van bediening én van de effecten daarvan zijn daarom beide nodig.

Slootpeilen in de proeven zijn duidelijk verhoogd ten opzichte van de polderpeilen. De bediening van de systemen heeft een duidelijke invloed op de freatische grondwaterstanden: deze zijn hoger bij subirrigatie en lager wanneer er water wordt afgevoerd via de pomp in de regelput. In het drogere jaar 2022 zijn de positieve effecten van de inzet van de systemen duidelijk groter. Daarmee leidt de subirrigatie tot doelbereik t.a.v. vernatting van de (klei-op) veenbodems. Dit is een positief resultaat van de proef. Als we stabiele toestanden willen hebben op de percelen, dan is het advies

niet te snel en niet teveel IN en/of UIT pompen. Beter niet UIT pompen, maar uit laten zakken. De sturing van de waterstand in de pompput is van groot belang en heeft extra aandacht nodig, met name in geval van een opbolling bij en na neerslag. De waterstand in de put moet bij deze systemen en drainafstanden duidelijk hoger zijn, om een vergelijkbare opbolling en freatische grondwaterstand te verkrijgen als bij een afvoersituatie zonder drainagebuizen (referentiepercelen). Er is een duidelijk hogere watervraag van de proefpercelen bij droog weer, met als positief en beoogd effect hogere bodemvochtgehaltes en hogere grondwaterstanden. Aan deze watervraag moet dan wel voldaan kunnen worden vanuit de polder qua inlaatwater. Een systeem van regelbare drainage met subirrigatie is beter in staat om grondwaterstanden op percelen te sturen dan kavelsloten.

De continu gemeten bodembeweging op de twee percelen bij Baan laat duidelijk effecten van het weer en van de bediening van de systemen zien. Het aanvoeren van water heeft een positief effect op de bodembeweging: minder beweging en minder daling tijdens droog weer. Afvoer van water onder natte condities geeft direct een duidelijk dalend effect te zien. In het najaar 2021 'veerde' de gedaalde bodem op het referentie-perceel terug tot 2-3 mm beneden de beginstand van de m.v.-hoogte. Momenteel (stand medio oktober 2022), na een drogere zomer in 2022, is de m.v.-hoogte deels gestegen na een natte septembermaand, nu stabiel en zo'n 40 mm lager dan de m.v.-hoogte van het proefperceel. De a.s. wintermaanden (2022/2023) vormen een belangrijke meetperiode.

Het effect van de proef op de productie van grasland is beperkt. Er zijn op jaarbasis kleine verschillen gemeten tussen proef- en referentieperceel van Baan in 2021 en 2022. De productie op het proefperceel neemt relatief toe in snedes in augustus en september, die kleiner van absolute omvang zijn.

De vorm van het maaiveld en de aanwezigheid van greppels maakt de sturing meer complex. Het maaiveld kan bol, vlak of hol zijn. Greppels zien we met name terug in het veld bij holle percelen. Daarmee komen de bodems van de greppels (in m+NAP) in de buurt van het polderpeil. Grondwater dat we via subirrigatie verhogen, kan aldus tot afvoer komen via de greppels, als deze kunnen afwateren naar de sloten. Een hogere peilsturing vanuit de regelput zal dan leiden tot meer afvoer van water, waardoor de stijging van de freatische grondwaterstand gelimiteerd wordt. Holle percelen en de aanwezigheid van greppels zijn beide apart en tesamen beperkend in het mogelijk verhogen van de grondwaterstand.

We voorzien in 2023 twee waterpassingen-controlemetingen op de sensor bodembeweging (VSM), op basis waarvan we de metingen bodembeweging in de gehele projectperiode gaan duiden. We willen de eventuele terugloop en lekkage bij/rond dammen in kavelsloten verhelpen. De bediening systemen en inzet greppels tijdens met name bij hoogwater blijft punt van aandacht. Het management in winter 2022/2023 en seizoen 2023 moet (nog) meer gericht zijn op het niet uitpompen van water via de drainagesystemen. We willen de communicatie van (tussentijdse) resultaten doorzetten en intensiveren richting einde project na het groeiseizoen van 2023.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
Inhoudsopgave	3
1 Inleiding	5
2 Probleem- en doelstelling	9
3 Uitvoering veldproeven	11
3.1 <i>Agrariërs en locaties.....</i>	<i>11</i>
3.2 <i>Monitoring.....</i>	<i>14</i>
3.2.1 <i>Vanaf start project.....</i>	<i>14</i>
3.2.2 <i>Aanpassingen in 2022.....</i>	<i>16</i>
3.3 <i>Analyse van gegevens oktober 2021 t/m medio oktober 2022</i>	<i>18</i>
4 Resultaten.....	19
4.1 <i>Neerslag en referentiegewas-verdamping van het KNMI.....</i>	<i>19</i>
4.2 <i>Werking van systemen.....</i>	<i>21</i>
4.2.1 <i>Hoogwatersloten.....</i>	<i>21</i>
4.2.2 <i>Drainage en subirrigatie</i>	<i>24</i>
4.3 <i>Effect op grondwaterstand, kwel/wegzijging en bodemvochtgehalte</i>	<i>26</i>
4.3.1 <i>Freatische grondwaterstand.....</i>	<i>26</i>
4.3.2 <i>Kwel en wegzijging.....</i>	<i>30</i>
4.3.3 <i>Bodemvochtgehalte</i>	<i>36</i>
4.4 <i>Gemeten waterafvoer via greppels.....</i>	<i>41</i>
4.5 <i>Waterbalans perceel</i>	<i>43</i>
4.6 <i>Waterbalans sloot</i>	<i>48</i>
4.7 <i>Gewastranspiratie en droge-stof opbrengst gras bij Baan</i>	<i>49</i>
4.8 <i>Effect regelbare drainage met subirrigatie op verticale bodembeweging</i>	<i>50</i>
5 Conclusies	55
6 Aanbevelingen	59
7 Bibliografie.....	61
8 Bijlagen.....	63
8.1 <i>Kaarten van percelen.....</i>	<i>63</i>
8.2 <i>Documentatie aangelegde systemen regelbare drainage met subirrigatie.....</i>	<i>68</i>
8.3 <i>VSM sensor – Vertical Soil Movement - meting bodembeweging aan maaiveld.....</i>	<i>69</i>
8.4 <i>Begrippenlijst</i>	<i>70</i>
8.5 <i>Betrokken partijen</i>	<i>71</i>

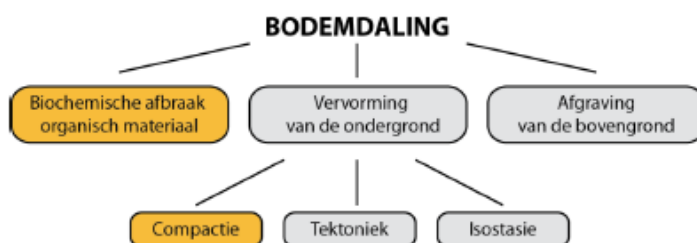
1 Inleiding

Het Rijk, provincies, gemeenten, waterschappen en de agrarische sector willen de bodemdaling in het veenweidegebied beperken, de uitstoot van broeikasgassen (CO_2 , CH_4) verminderen en de chemische en ecologische waterkwaliteit verbeteren (KRW). Om bodemdaling te reduceren moeten de (klei-op-)veenbodems worden vernat, via het realiseren van hogere grondwaterstanden dan onder gangbare condities in het veenweidegebied het geval is. Hogere grondwaterstanden leiden tot een dunnere onverzadigde zone (bodemzone boven de grondwaterstand) en hogere bodemvochtgehaltes in de onverzadigde zone zelf. Oxidatie van organische stof (veen) leidt tot emissie van broeikasgassen via aerobe afbraak (CO_2) en via anaerobe afbraak (CH_4). Aerobe afbraak vindt waarschijnlijk met name plaats in de onverzadigde zone. Anaerobe afbraak kan overal plaatsvinden, maar met name in de verzadigde zone bij aanwezigheid van bacteriën (Hoogland et al., 2019).

De veelal langwerpige percelen in het veenweidegebied kunnen qua vorm van het maaiveld tussen de kavelsloten onderscheiden worden in bolle percelen, vlakke percelen en holle percelen. Deze laatste categorie is door de jaren heen ontstaan door een ongelijke bodemdaling binnen het perceel, die het grootst is midden tussen de kavelsloten, die aan weerszijde liggen. Holle percelen zijn meestal voorzien van een of meerdere greppels, om plassen te voorkomen en de afvoer van een teveel aan neerslag te waarborgen.

Om hogere grondwaterstanden te realiseren kan worden gedacht aan het toepassen van de systemen onderwaterdrainage of drukdrainage met een pompput, tegenwoordig meestal water-infiltratie-systemen genoemd. Het hydrologische proces dat met het regelbare drainagesysteem gerealiseerd wordt heet sub-irrigatie, het ondergronds toedienen van water ter vernatting. Infiltratie gebeurt aan maaiveld. We passen aldus in dit project sinds eind 2020/begin 2021 regelbare drainage met subirrigatie toe op een aantal proefpercelen. Parallel hieraan realiseren we bij deze percelen hogere slootpeilen dan in het omringende peilvak, als extra maatregel om projectdoelen te realiseren.

Bodemdaling als resultante van bodembeweging komt via een aantal parallelle processen tot stand (figuur uit STOWA Deltafact, 2020; in oranje is aangegeven waar de Deltafact zich op richt):



- Compactie;
- Consolidatie en compressie;
- Kruip, zetting, klink en rijping;
- Krimp en zwel;
- Oxidatie van organische-stof (aeroob en/of anaeroob);
- Vorst en dooi;
- Geologie - tektoniek en isostasie.

Er is niet a priori aan te geven welk proces welk deel van de bodembeweging en/of bodemdaling tot gevolg heeft.

Compactie is de verdichting van het skelet/structuur van de (klei-op-)veenbodem. Deze verdichting kan ontstaan door belasting van bovenaf, bijvoorbeeld door inzet van zware machines op het land, of door het vergroten van de korrelspanning vanwege een lagere waterspanning (bodemmechanica). Dat laatste kan gebeuren door afname van het bodemvochtgehalte, zo ontstaat het proces krimp. In het veenweidegebied oxideert (verbrandt) organische stof wanneer zuurstof de bodem indringt, met als gevolg bodemdaling en CO₂-uitstoot. Dit speelt vooral in de zomer, wanneer de grondwaterstand daalt door een verdampingsoverschot (of neerslagtekort) bij een geringe infiltratie van water uit de kavelsloten. De grondwaterstand wordt dan lager dan het waterpeil in de kavelsloten. Afbraak van organische stof kan ook plaatsvinden onder zuurstofloze (anaerobe) condities, door bacteriën. Dit levert methaan op dat als gas (CH₄) wordt geëmitteerd.

Regelbare drainage met subirrigatie toepassen heeft in dit project als doel de bodembeweging te dempen en de netto bodemdaling over de jaren heen te reduceren. De (klei-op-)veenbodem beweegt namelijk op en neer, als effect van de bovengenoemde processen. Deze zijn deels reversibel, waarbij de beweging omhoog en neerwaarts blijft gaan, deels van permanente aard: als organische-stof oxideert, dan resteert mineraal materiaal met bodemdaling tot gevolg.

De subirrigatie zorgt door de ondergrondse toediening van water voor een minder grote, dan wel geen daling tot zelfs een stijging van de grondwaterstand in tijden van een neerslagtekort. De aanvoer van slootwater vindt plaats via een pomp en de drainageput naar de drainagebuizen, die permanent onder water staan. De grondwaterstand wordt dan hoger, vergeleken met een situatie zonder drainagebuizen. De (klei-op-) veenbodem is dan dientengevolge natter.

In dit project meten we de verticale bodembeweging van het maaiveld. Bodemdaling (in bijv. de eenheid mm/jaar) kan berekend worden door op een aantal momenten in de tijd het verschil te bepalen tussen de maaiveldhoogte op een later moment [m+NAP] en de maaiveldhoogte op een eerder moment [m+NAP]: de trend in de bodembeweging levert eventueel een bodemdaling op.

De hypothese is dat we in dit project via vernatting met name te maken hebben met bodembeweging ten gevolge van rijping (minder door vernatting), krimp (idem), zwel (eventueel meer door vernatting) en aerobe oxidatie van organische-stof (minder). Compactie kan optreden door o.a. bewerking, beweiding en berijding van nattere percelen. Kruip, zetting, klink, vorst, dooi, tektoniek en isostasie zijn andere processen die tot bodembeweging leiden.

Als vernatting van de veenbodem aan de orde is, dan past hierbij een systeem van regelbare drainage met subirrigatie via een wateraanvoer-voorziening, waarbij de vernatting controleerbaar/beheersbaar is in ruimte en tijd. Dit soort systemen wordt al een tijd toegepast in veengebieden binnen Nederland (o.a. Hoving et al., 2008), zoals in Spengen (o.a. Hoekstra en Van Schie, 2022). In Zuid- en Oost-Nederland wordt op zandgronden sub-irrigatie toegepast in regelbare drainagesystemen, door in de drainageputten de waterstand hoger op te zetten om zo een 'overdruk' te creëren (o.a. ; Van den Eertwegh et al. 2013). Ook zijn er regels bedacht en ontwikkeld om deze systemen automatisch te sturen (Bartholomeus et al., 2015; De Wit et al., 2021). Zie ook <https://www.programmalumbricus.nl/publicaties/> en www.klimap.nl. Ondertussen lopen andere projecten in de streek (o.a. Groene Cirkels Kaas, sinds 2019) en vinden in den lande ook experimenten plaats met zogenaamde moldrainage, zoals beschreven in Dekker (1999). Voorbeelden hiervan zijn te vinden in Van den Akker et al. (2010), op <https://wij.land/portfolio-items/sub-irrigatie-bodemdaling/> en te Oudewater (agrariërs Van Vliet en Graveland) en te Wilnis bij agrariër Samsom (Caverzam Barbosa, 2021).

De regelbare drainage in dit project kent drainbuizen die zijn aangesloten via een dichte verzamelleiding op een regelput, waar water kan worden aangevoerd en/of afgevoerd met

pompsystemen van en naar de sloot. Met dit systeem hebben percelen, zo verwachten we, in voor- en najaar een betere draagkracht en houden ze in de zomer meer vocht vast (metingen penetrometer; Van Houwelingen en Den Besten, 2022). Met dit systeem kan de boer de grondwaterstand in zijn percelen onafhankelijk van het slootwaterpeil actief sturen. Hogere grondwaterstanden in de zomer zorgen er naar verwachting voor dat minder veen (aeroob en/of anaeroob) oxideert, waardoor de bodemdaling wordt beperkt. Er zijn minder emissies naar de lucht via broeikasgassen (CO₂). Veehouders hebben het voordeel indien er wateroverlast of droogteschade ontstaat, zij een middel/instrument hebben om het grondwaterniveau te kunnen sturen. Water bufferen door drainage te beperken (water vasthouden) behoort ook tot de mogelijkheden.

In de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden is sinds eind 2020 een aantal agrariërs actief bezig met landbouw en waterbeheer. Ze hebben belangstelling voor het proefondervindelijk aanleggen en uittesten van regelbare drainage met subirrigatie, in nauwe samenhang met aangepast sloot(peil)beheer. Drie locaties zijn gelegen in Nieuwland en Brandwijk (2x biologische en 1x gangbare landbouw; Figuur 1). Er zijn regelbare drainagesystemen met subirrigatie aangelegd door Barth Drainage BV. Bij Peter Heikoop en Kees Baan zijn de regelpotten voorzien van pompen op zonne-energie voor aanvoer én afvoer van water, bij Mattias Verhoef alleen voor de wateraanvoer. Bij alle drie proefpercelen zijn de sloten aan weerszijden afgedamd en ondergronds via een leiding onderling verbonden. De waterpeilen rondom zijn daardoor identiek. Slootpeilen worden verhoogd ten opzichte van polderpeilen door pompen op zonne-energie, die de afgedamde kavelsloten van polderwater voorzien.

Met de veldproeven in de pilots willen we nut en werking aantonen van regelbare drainage met subirrigatie in grasland op veengrond met een kleidek. We richten ons daarbij samengevat op:

- Informatie en kennis genereren over de werking en effecten van regelbare drainage met subirrigatie in klei-op-veengrond op de hydrologie van de percelen;
- Idem op de bodembeweging klei-op-veenbodems;
- Deze kennis duiden;
- Begeleiding van de boeren en het projectteam op het vlak van operationele bediening van de systemen;
- Participatieve monitoring bevorderen bij de boeren;
- Communiceren van resultaten project, bij positief resultaat mede richten op opschaling.

Marc Trouwborst fungeert namens de Regionale Maatschappelijke Agenda (RMA) en beide provincies Zuid-Holland en Utrecht als opdrachtgever van het project. Stichting Blauwzaam levert de projectleider in de persoon van Rolia Wiggelinkhuijsen. KnowH₂O is in opdracht van het RMA via de projectleider van Stichting Blauwzaam de projectpartner die de uitvoering doet op het vlak van hydrologie en bodembeweging (pompsystemen, monitoring, dataverwerking, duiding). Deze rapportage is een tussenrapportage betreffende de waarnemingen aan de hydrologie en bodembeweging. Tezamen met de andere partners in het project vindt later in een overall-kader integratie plaats van bevindingen plaats.



2 Probleem- en doelstelling

De meeste bodems in de regio Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden kennen in meer of mindere mate bodemdaling (Fugro, in opdracht van WSRL, 2021; zie Waterschap Rivierenland, 2022), emissie van broeikasgassen naar de lucht en verliezen van nutriënten naar het grond- en oppervlaktewater. Het landschap en de verkaveling verdient aandacht via duurzaam gebruik en beheer voor en door landbouw, recreatie en natuur.



Figuur 1. Alblasserwaard (locatie Brandwijk en Molenaarsgraaf) en Vijfheerenlanden (locatie Nieuwland).

Regelbare drainage met subirrigatie kan een deel van de oplossing zijn voor bodem- en waterproblemen. We willen daarom met deze systemen in de praktijk ervaring opdoen in de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden. De bodemopbouw met het kleidek in de gebieden wijkt af van toepassingen elders van deze systemen tot nu toe. Dat maakt dit project en de pilots uniek, omdat we de werking en effecten hier gaan onderzoeken/meten/bepalen. We gaan door monitoring en onderzoek kennis opdoen, die gebruikt kan worden voor een toekomst-bestendig bodem-water-beheer. De uitgebreide projectmonitoring maakt het project ook uniek.

We willen in de projectperiode, waarbij de aanleg van de systemen plaatsgevonden heeft eind 2020/begin 2021, drie volle groeiseizoenen na aanleg de werking van het systeem bepalen en het beheer ervan optimaliseren (2021 t/m 2023). We willen vaststellen hoe de systemen werken onder de bodemcondities in de gebieden. Daarvoor is monitoring nodig, zowel vanaf de nul-situatie als ook op referentiepercelen direct in de buurt van de proefpercelen met dezelfde eigenaar/boer. We gaan daarmee ook de technische aspecten van het drainagesysteem bekijken en analyseren, zoals de watervoorziening in de ruimte en de doorvertaling van de externe waterstand via de put binnen het systeem naar de uiteinden (NB lange kavels). De effecten van de inzet van de systemen bemeten we zelf (o.a. hydrologie, temperatuur van bodem en water). We doen geen metingen aan gas-emissies.

De actuele bodemhoogte en daarmee de bodembeweging gaan we continu meten met een nauwkeurige extensometer, de zogenaamde VSM-sensor (Vertical Soil Movement), die gefundeerd is in de stabiele zand-ondergrond. De sensor vindt zijn oorsprong in een eerdere samenwerking met Floris Heuff/TU Delft (<https://bodemdalingsskaart.nl/onderzoek/>). We koppelen onze metingen en bevindingen actief aan onderzoek naar bodembeweging door Deltares te Zegveld (kader is NOBV), waarmee we een samenwerking aan zijn gegaan (Van Deijl et al., 2022).

Samengevat zijn onze doelen als volgt:

- Wij passen regelbare drainage met subirrigatie en verhoogde slootpeilen toe bij klei-op-veengronden;

- *We willen technisch-inhoudelijk grip op de werking van het systeem krijgen door drie veldproeven uit te voeren;*
- *We willen het beheer van het systeem stapsgewijs opbouwen en uiteindelijk sturen op: bodembeweging (op de middellange termijn bodemdaling), biodiversiteit, weidevogels en waterkwaliteit. We voeren veldproeven daarom uit in combinatie met hogere slootwaterpeilen, zodat er doelen te behalen in het watersysteem op het vlak van biodiversiteit, weidevogels en de KRW.*
- *We leveren met of zonder succes van de veldproeven feitelijke informatie en kennis aan voor het al dan niet uitrollen van regelbare drainage met subirrigatie en aangepaste slootpeilen in de regio.*

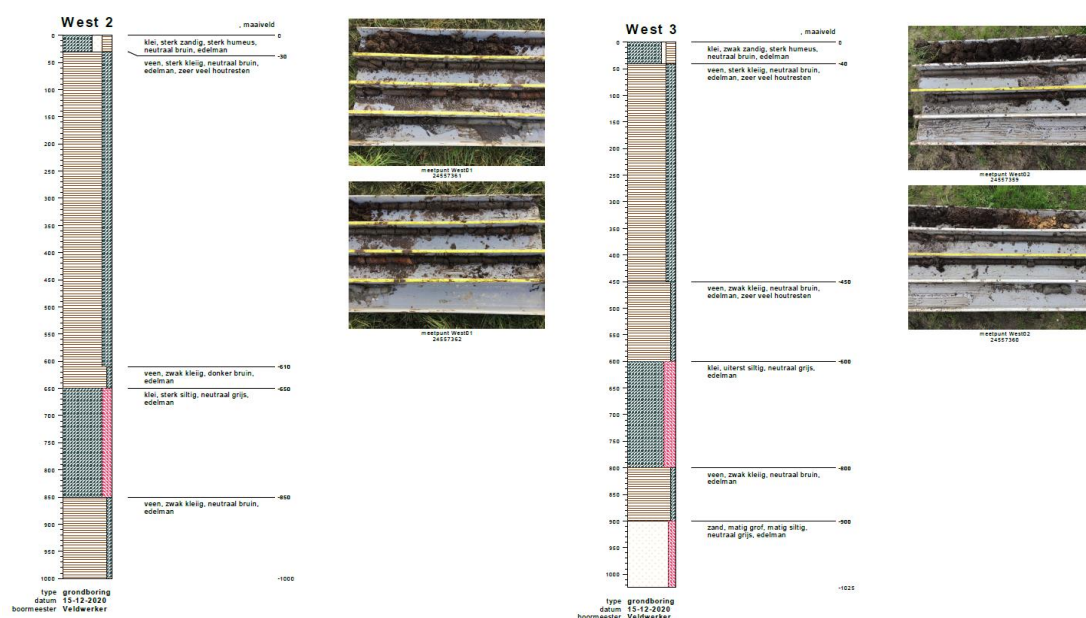
3 Uitvoering veldproeven

3.1 Agrariërs en locaties

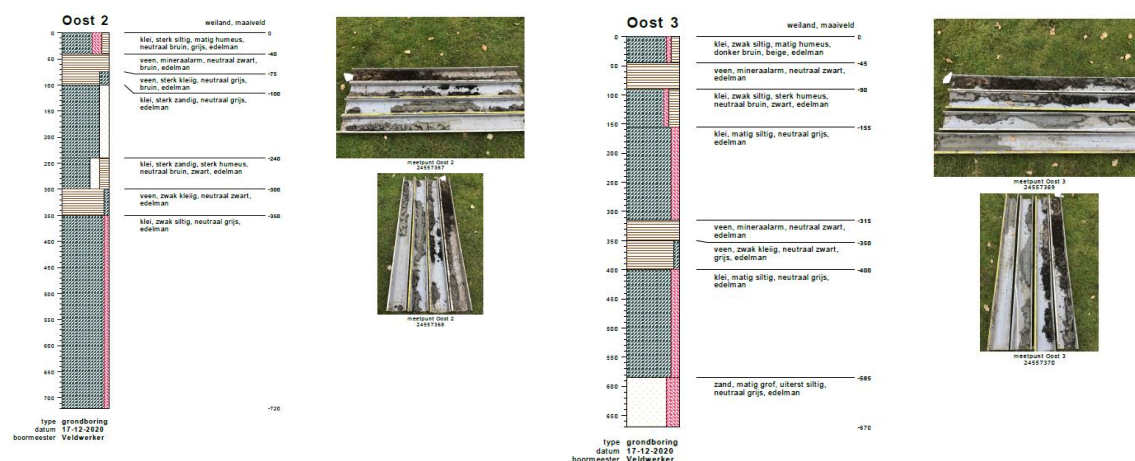
Mede dankzij hun eigen initiatieven heeft het projectteam in de Alblasserwaard-Vijfheerenlanden drie agrariërs kunnen organiseren die actief meedoen aan dit project:

- Kees Baan: gangbare melkveehouderij;
- Peter Heikoop en Jan den Besten: biologische melkveehouderij;
- Matthias Verhoef: biologische melkveehouderij.

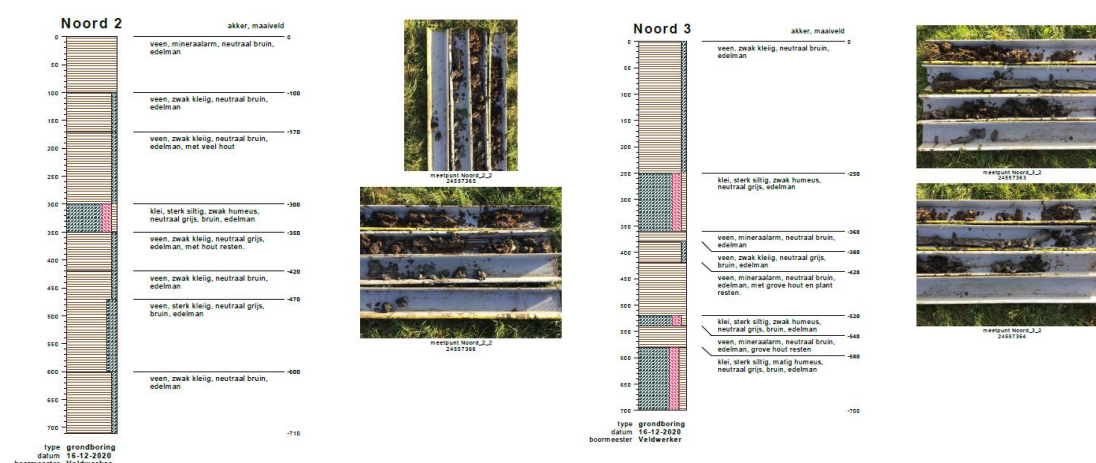
Het landgebruik betreft voor alle percelen permanent grasland. Bij Baan wordt dit alleen gemaaid, bij Verhoef en Heikoop ook beweid. De bodem (Figuur 2, 3 en 4) bestaat uit een teeltlaag, bij Kees Baan en Peter Heikoop gevolgd door een venige kleilaag op veengrond, met een wisselende dikte van de venige kleilaag (15 à 35 cm). Bij Matthias Verhoef heeft de teeltlaag en veenbodem geen kleidek.



Figuur 2. Bodemopbouw percelen Kees Baan. Links proefperceel, rechts referentieperceel. Boorbeschrijvingen december 2020, bron: Avallo Advies.



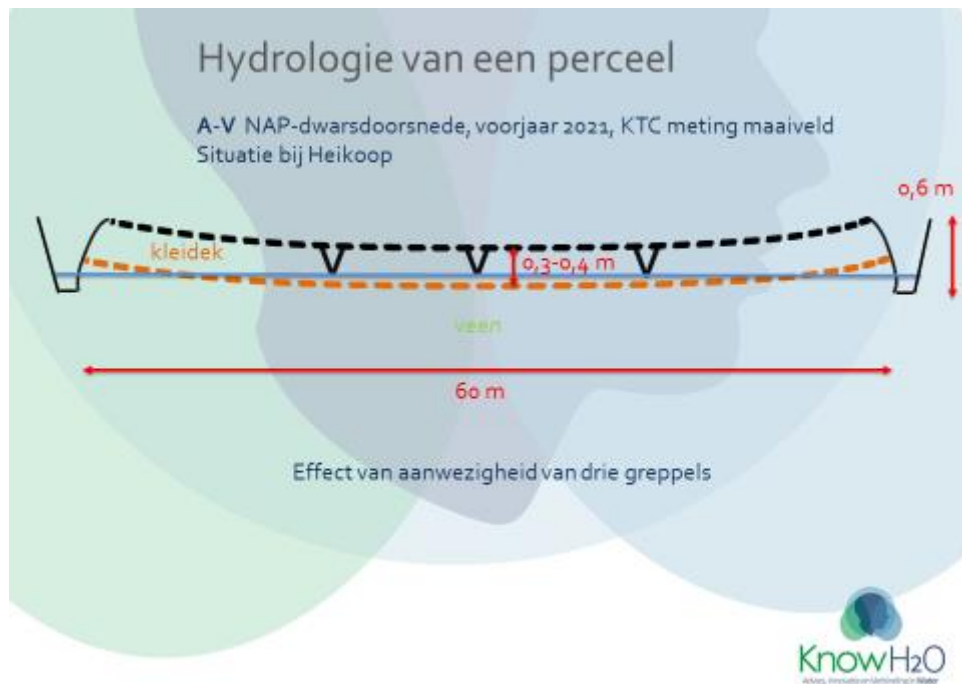
Figuur 3. Bodemopbouw percelen Peter Heikoop. Links proefperceel, rechts referentieperceel. Boorbeschrijvingen december 2020, bron: Avallo Advies.



Figuur 4. Bodemopbouw percelen Mattias Verhoef. Links proefperceel, rechts referentieperceel. Boorbeschrijvingen december 2020, bron: Avallo Advies.

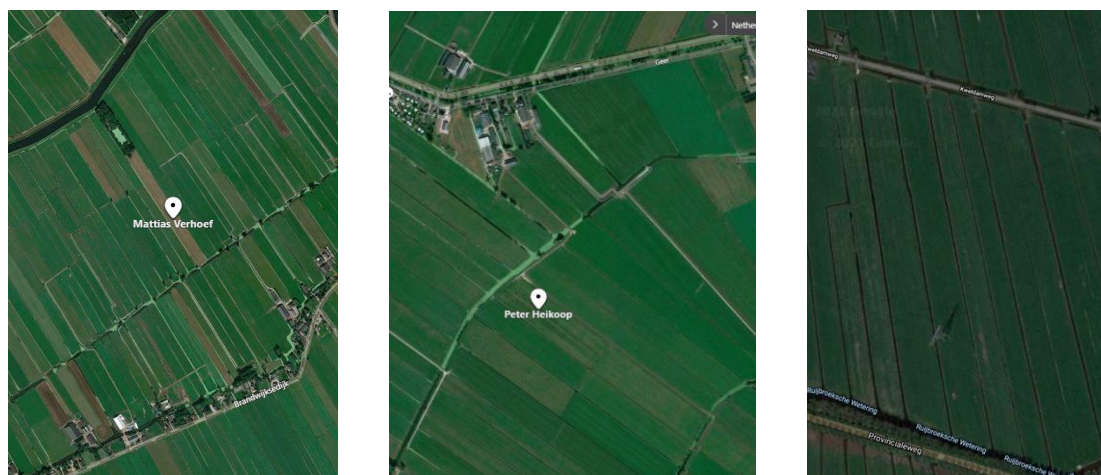
De percelen op de proeflocaties liggen hol en hebben 1 tot 3 greppels (Van Houwelingen en Den Besten, 2021; Figuur 5; zie ook Bijlage 9.1). De vorm van het maaiveld (bol, vlak, hol) en de aanwezigheid van greppels (meestal bij holle percelen) is van belang voor het kunnen verhogen van de freatische grondwaterstand.

De rol en totstandkoming van greppels wordt o.a. beschreven door Van Slochteren (2021). Het betreft weliswaar een rapport over het noordelijk zeekleigebied, maar duidelijk is de hydrologische functie van greppels door de afvoer van water vanuit en vanaf slecht-doorlatende bodems.



Figuur 5. Standaard-schematische situatie van dwarsdoorsnede veenweideperceel bij Heikoop van 60 m breed met drie greppels (zonder regelbare drainage). De blauwe lijn duidt het slootpeil aan bij winterpeil. De oranje lijn dient ter aanduiding van de onderkant van het kleidek.

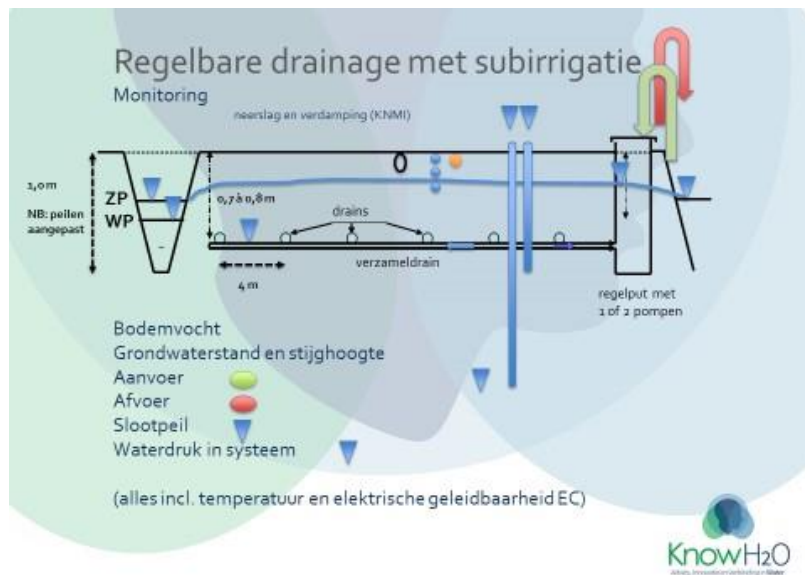
De drooglegging varieert bij winterpeil (WP) tussen 50 à 60 cm –m.v. Er worden zomerpeilen (ZP) gehanteerd die ongeveer 10 à 15 cm hoger zijn dan WP. Deze peilen gelden voor de referentiepercelen en worden gerealiseerd door WSRL in de bijbehorende peilvakken. De waterpeilen in kavelsloten rondom de proefpercelen regelen de boeren zelf via aan- en afslagpeilen door middel van een vlotter bij de waterpomp nabij de dammen.



Figuur 6. Drie proeflocaties: Verhoef-Brandwijk (links), Heikoop-Nieuwland (midden) en Baan-Molenaarsgraaf (rechts).

Bij elk van de drie proefpercelen (Figuur 6) is een nabijgelegen referentieperceel geselecteerd waarbij onder heersende praktijkcondities metingen worden gedaan zonder toepassing van systemen en bij heersende polderpeilen.

Bij Kees Baan zijn zowel het proefperceel als het referentieperceel voorzien van onze Vertical Soil Movement (VSM)-sensor (van Deijl et al., 2022). Deze sensor is voorzien van een datalogger op telemetrie en gefundeerd in de zandondergrond. Hiermee meten we elk kwartier de verticale ligging/hoogte van het maaiveld, teneinde de verticale bodembeweging te kunnen bepalen.



Figuur 7. Drukdrainage – schematische weergave systeem en monitoring proefperceel.

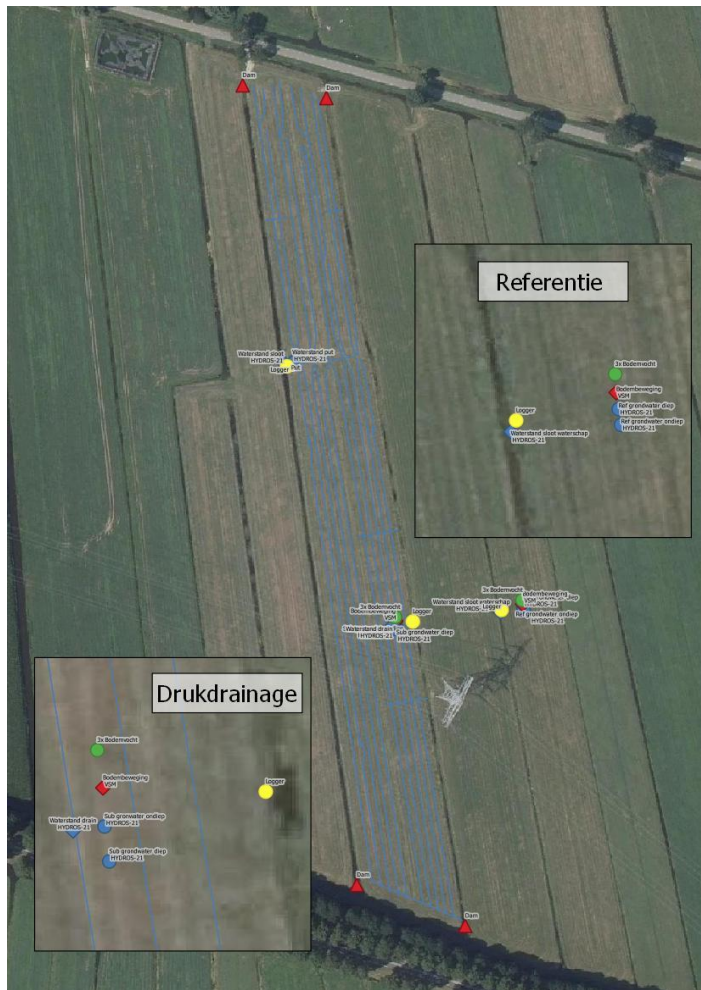
3.2 Monitoring

3.2.1 Vanaf start project

De volgende variabelen zijn onderdeel van de monitoring (zie Figuur 7 en Bijlage):

- Slootpeilen en elektrische geleidbaarheid (EC) en temperatuur van slootwater; NAP-peilschalen via WSRL;
- Freatische grondwaterstanden en stijghoogte in veen-zandpakket in/nabij zand-ondergrond met EC en temperatuur;
- Bodemvochtgehalten, EC en temperatuur op 20-40-60 cm-m.v.; NB niet gekalibreerd voor organische bodems;
- Waterstand, EC en temperatuur in een drainbuis midden op het perceel;
- Waterstand, EC en temperatuur in de regelpot;
- Debieten IN en UIT regelbaar drainagesysteem en debiet IN kavelsloot (proefpercelen);
- Stroomverbruik van de pompsystemen;
- Verticale beweging van het maaiveld met VSM-sensor (Vertical Soil Movement).

We verrichten samen met de agrariërs handmatig metingen van waterstanden in peilbuizen. We hebben niet alle variabelen in dit rapport behandeld en verwerkt. Naar behoefte komen deze terug in de eindrapportage van het project.



Figuur 8. Monitoring – weergave van proefperceel en referentieperceel Kees Baan.

We zijn intensief aan het meten en zetten in op continuummetingen via sensoren en telemetrische dataloggers, zodat deelnemers en onderzoekers de toestand buiten steeds goed kunnen volgen. Meetdata zijn in een online portaal beschikbaar gemaakt. De metingen voeren we uit op de proefpercelen (3x) en referentiepercelen (3x). We doen onderzoek en verzamelen veld- en datamateriaal om verschillen/overeenkomsten/effekten te zien en te duiden.

Neerslag (NB radar data) en referentiegewas-verdamping betrekken we van het KNMI. Een lokale regenmeter hebben we niet geïnstalleerd, vanwege de behoefte aan zeer frequent beheer en onderhoud van zo'n regenmeter. We kunnen van/via WSRL data en informatie krijgen over de werkelijke verdamping van grasland binnen de proeven via STOWA-SATWATER (SATDATA) en berekeningen met het MORIA model (NB nog in overleg met WSRL). Bodemvocht en bodemtemperatuur, grondwaterstanden, aanvoer, afvoer, wegzijging/kwel (NB meting van verticale verschillen in stijghoogte freatisch grondwater en grondwater in onderliggend watervoerend pakket) alsmede slootpeilen meten we ter plekke met sensoren (incl. elektrische geleidbaarheid) en debietmeters (Figuur 8).

Online EC- en temperatuursensoren voor de waterkwaliteit gaan we inzetten en zijn nuttig om continu informatie te hebben over de actuele situatie, dag en nacht, in de veenweidesloot (waterpeil, temperatuur, EC).

De actuele ligging van het maaiveld en de bodemhoogte bepalen we via AHN-3 (Actueel Hoogtebestand Nederland; <https://www.ahn.nl/>) en lokale controlemetingen. KTC Zegveld meet incidenteel de hoogte van een aantal plekken op de percelen, al dan niet met speciale meetapparatuur (waterpassing; RTK GPS; zie Bijlage 9). We verwachten niet dat we binnen een aantal jaren een volledig kwantitatieve analyse kunnen doen van het effect van de proeven op de bodembeweging, maar willen wel goede basisinformatie hieromtrent verzamelen. Daarom hebben we eerder in 2020 de samenwerking gezocht met de TU Delft (Floris Heuff; nu RWS) en momenteel met Deltares (Gilles Erkens en Sanneke van Asselen; Van Deijl et al., 2022).

3.2.2 Aanpassingen in 2022

De volgende technische aanpassingen zijn gedaan:

- Nieuwe vlotters met relais geïnstalleerd bij alle pompen (op 20 en 23 december 2021);
- Eenvoudige tensiometer geïnstalleerd bij Verhoef (MeterGroup Teros 21 sensor);
- Greppel-debiet UIT: debietmeter geïnstalleerd bij Heikoop op oostelijke helft van proefperceel (data vanaf 30-6-2022); drie greppels gekoppeld; afwatering op polderwater;
- Sloot-debiet UIT: debietmeter geïnstalleerd bij Baan op proefperceel (data vanaf 30-6-2022; niet verwerkt in deze rapportage – te weinig data);
- Zestal druksensoren vervangen in 2022 (problemen door fabrieksfout sensoren).

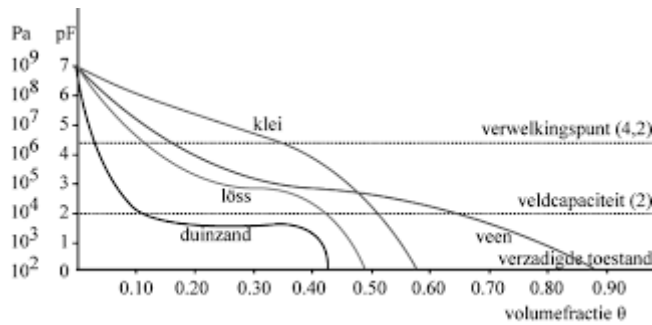
Vlotters

In de loop van 2021 bleek dat de sturing van de pompsystemen bij de pompputten niet precies genoeg kon worden geregeld door de tot dan toe gebruikte vlotters. Daarom zijn deze vlotters vervangen. Sindsdien zijn de aanslag- en afslagpeilen in pompputten strakker opgevolgd door de pompsturing en is de variatie van het waterpeil in de putten verminderd in vergelijking met de periode tot medio december 2021 (zie Paragraaf 4.2.2). Overigens zijn de aan- en afslagpeilen regelbaar/instelbaar door de agrariërs.

Eenvoudige tensiometer

We hebben in 2021 vastgesteld dat de bodemvochtsensoren in de percelen goed hebben gefunctioneerd, maar weinig variatie in de tijd lieten zien. An sich is dit een correcte waarneming/meting in dat jaar geweest, maar we willen graag zien of het gras binnen de gemeten variatie van het bodemvochtgehalte in droge perioden in 2022 toch last zou kunnen hebben van te weinig vocht in de wortelzone. In Figuur 9 is de pF-curve te zien van veen. Vanaf een $pF=2,0$ is deze curve vrij vlak: een geringe variatie van het bodemvocht vindt plaats binnen een grotere variatie in de zuigspanning. Deze zuigspanning is een onderdruk (negatief) van water (cm) in de onverzadigde zone, boven de grondwaterstand. De pF is een $^{10}\log$ -waarde hiervan: $-100\text{ cm} = pF\text{-waarde } 2,0$. Het vochtgehalte in de bodem is een gevolg hiervan (bodemnatuurkunde).

Plantenwortels reageren qua wateropname op de onderdruk of zuigspanning van water in de bodem, waarbij naarmate de onderdruk hoger wordt (meer negatief), de plant meer moeite tot zelfs stress ervaart om water op te nemen om te kunnen verdampen. Een tensiometer meet deze onderdruk. We hebben daarom als test rond medio februari 2022 een eenvoudige tensiometer bij Verhoef geïnstalleerd op een diepte van 15 cm-m.v., om te zien hoe de onderdruk in de onverzadigde zone (zuigspanning bodemvocht) reageert op droog weer (zie Paragraaf 4.3.3). We hebben aldaar geen metingen van de droge-stof opbrengst van het gras, alleen bij Baan, dus via deze sensor krijgen we bij Verhoef een beeld of het grasland aldaar op het proefveld stress ondervindt.



Figuur 9. *pF*-curve veenbodem – NB vlak verloop vanaf met name $pF=2$ tot $pF=3$.

Greppel-afvoer

De greppels in de percelen zijn doorgaans afgedamd en worden alleen in gevallen van wateroverlast of mogelijke gewasschade geopend. Omdat dit in de loop van de proef een aantal malen is geschiedt, is er in de zomer van 2022 een debietmeter geplaatst in een gekoppeld greppelsysteem bij Peter Heikoop. Hiermee willen we een indicatie verkrijgen van de rol van greppels in het drainageproces van hol-gelegen veenweidepercelen. Er is sindsdien tot medio oktober 2022 nog geen afvoer geconstateerd.

Druksensoren

De toegepaste druksensoren in de percelen meten de waterdruk in een peilbuis, de EC en de temperatuur van het water. In de loop van 2021/2022 is een aantal sensoren uitgevallen door fouten in de sensor. Deze zijn enige tijd na het optreden van de storingen vervangen. Door het niet-tijdig opmerken van storingen en door levertijden van nieuwe, en soms nadien weer defecte sensoren, zijn er gaten in sommige meetreeksen ontstaan. Het probleem dat hierbij zou kunnen ontstaan in termen van meetresultaten en conclusies is beperkt, omdat deze metingen (groten)deels rekenkundig kunnen worden herleid uit de andere metingen op het desbetreffende perceel.

Overige punten van aandacht

Via de meetgegevens in de cloud (ZentraCloud) hebben we de betrokkenen door het beschikbaar stellen van figuren/grafieken kunnen voorzien in het online meekijken met de metingen buiten. Via de smart telefoon en de laptop of PC zijn de hydrologische toestanden op de percelen en in de sloten te volgen. Dat heeft geholpen qua sturing en begrip van de werking van de systemen.

In het algemeen kunnen we aangeven dat de regelbare drainage met subirrigatie en de monitoring redelijk tot goed geslaagd zijn, maar dat dat alles wel aandacht, zorg en beheer en onderhoud behoeft. 'Het gaat niet vanzelf goed', zo is het devies. Waterfilters schoon houden, vlotters bijstellen en sensoren in de gaten houden qua functioneren kost aandacht en tijd.

Bij de aanleg van de drainagesystemen zijn er hobbels in het maaiveld ontstaan bij het proefperceel van Peter Heikoop, door sleufloos te draineren onder de toen heersende vochttoestand van de bodem. De hobbels zijn nog steeds aanwezig in het veld. Dit is een generiek aandachtspunt bij de aanleg van drainagebuizen en verzamelleidingen. De uitgedroogde toplaag van klei werd door het drainage-mes van de machine met kracht doorsneden en opgetild. Daarna zakte de klei-op-veenbodem ongelijk terug. Het gedeelte dat opgetild was vertoonde scheuren en zakte soms scheef. De baan waarlangs gedraineerd is bleef lange tijd hoger liggen dan de omringende grond. De verwachting was bij het vochtig worden van de klei-op-veen-bodem, dat deze weer min of meer glad zou trekken. Tot op heden (november 2022) is dat tot nu toe niet het geval. Het lijkt er aldus op

dat het sleufloos aanleggen van systemen beter onder vochtige omstandigheden kan geschieden, voor en tijdens het draineren.

Bij het beheer van de drainagesystemen zijn zaken relevant als o.a. het schoonhouden van het systeem door inlaatwater te filteren, de PV-installatie voor de pompen schaduwvrij te houden en goed te controleren dat de vlotters op het gewenste niveau ingesteld staan.

Zie voor aspecten van onderhoud en beheer van de systemen ook o.a. Kooistra (1990), Van Bakel en Stuyt (2022) en Mankor et al. (2022).

3.3 Analyse van gegevens oktober 2021 t/m medio oktober 2022

Gegevens van vanaf januari 2021 tot en met september 2021 zijn verwerkt en geanalyseerd in de voorgaande tussenrapportage (versie 27 oktober 2021). We hebben voor deze rapportage de data verwerkt tot en met medio oktober 2022.

We hebben de nieuw-verzamelde informatie en gegevens qua verwerking als volgt gestructureerd:

- Werken de systemen naar behoren?
- Wat is het effect op gerealiseerde slootpeilen naast proefpercelen?
- Idem op hydrologie proefpercelen? Verschil met referentiepercelen?
- Hoeveel water was er nodig voor de proeven?
- Hoe reageerde de verticale positie van het maaiveld?
- Hoe ging het met de sturing van de systemen en beoogde doelen?
- Wat zijn de tussentijdse bevindingen?

4 Resultaten

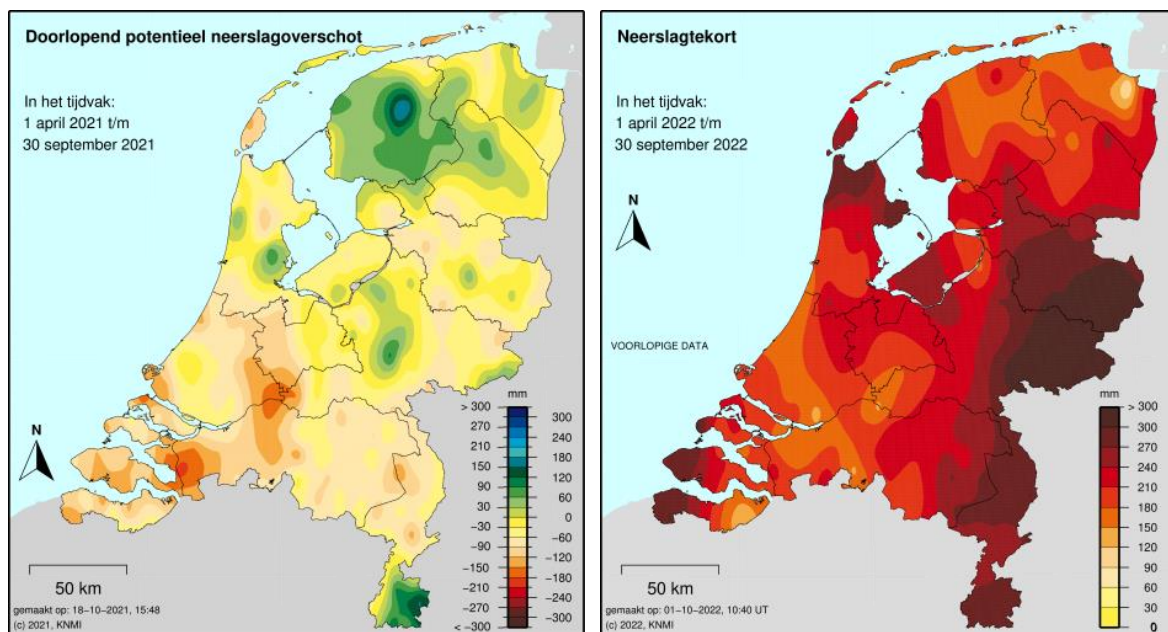
In deze sectie van resultaten worden na de meteorologie de volgende elementen behandeld:

1. Polderwatergang waterschap - waterpeilen
2. Hoogwatersloten rondom proefpercelen - idem
3. Regelbare drainage met subirrigatie - functioneren
4. Bodemvochtgehalten
5. Grondwaterstanden
6. Verticale bodembeweging aan maaiveld

4.1 Neerslag en referentiegewas-verdamping van het KNMI

Voor de neerslag en verdamping (referentiegewas-verdamping volgens Makkink) vallen we terug op metingen van en door het KNMI. Voor de neerslagmetingen hebben we gebruik gemaakt van dubbel-gevalideerde radargegevens (vlakken van $1 \times 1 \text{ km}^2$), specifiek voor de percelen in de regio. Voor de verdamping nemen we de gegevens over van station Herwijnen.

We presenteren en gebruiken de KNMI-cijfers, zonder rekening te houden met reductie van de gewasverdamping door droogte en/of hitte. In Figuur 10 is het zogenaamde potentieel neerslagtekort als som (cumulatief, doorlopend) te zien voor Nederland in de periode 1 april t/m 30 september van de jaren 2021 en 2022. Hierbij wordt de cumulatieve neerslag verminderd met de cumulatieve referentiegewas-verdamping volgens Makkink (ET_{tref}). Deze ET_{tref} MAK kan omgerekend worden naar potentiële verdamping van gewassen, zoals gras. De werkelijke verdamping van gewassen hangt o.a. af van de vochttoestand in de bodem en van de luchttemperatuur en globale (zonne-)straling. Als het potentieel neerslagtekort groter wordt, dan is de kans groter dat de werkelijke verdamping van gewassen lager is dan de potentiële verdamping. Er treedt dan verdampingsreductie op, met als gevolg een lagere droge-stof productie. Dit laatste zou soms wel het geval kunnen zijn in de praktijk, met name in 2022. Uit de seizoensom voor 2022 (april t/m september) blijkt dat in de projectregio het potentieel neerslagtekort varieerde van 120-180 mm.



Figuur 10. Potentieel neerslagtekort in periode 1-4-2021 t/m 30-9-2021 (links) en 1-4-2022 t/m 30-9-2022 (rechts). Data en kaart: KNMI.

We hebben de KNMI-cijfers van neerslag en verdamping toegepast in de berekening van de waterbalans (zie verderop in dit hoofdstuk) en bij de beschouwing over de droge-stof productie van grasland. De ETref MAK van de proefvelden verschilt onderling niet veel van elkaar en op alle percelen staat gras. De neerslag kan wel verschillend zijn in de regio.

Tabel 1. Maandsommen neerslag en referentiegras-verdamping [mm] volgens Makkink (ETref MAK) voor de drie proeflocaties. Periode januari 2021 t/m september 2022. Brongegevens van KNMI (dagsommen; gevalideerde regenradar en ETref MAK-kaarten; ruimtelijke resolutie 1x1 km²).

Jaar	Maand	Baan		Verhoef		Heikoop	
		neerslag	ETref	neerslag	ETref	neerslag	ETref
2021	Jan	105	-9	98	-9	98	-9
	Feb	45	-22	45	-22	48	-22
	Mrt	31	-41	34	-40	39	-40
	Apr	43	-63	46	-63	39	-62
	Mei	102	-80	97	-80	106	-79
	Jun	74	-109	70	-110	66	-110
	Jul	86	-91	71	-91	85	-91
	Aug	61	-78	57	-78	82	-78
	Sep	31	-63	25	-62	25	-62
	Okt	139	-29	145	-29	131	-29
	Nov	80	-12	80	-12	73	-12
	Dec	54	-6	53	-6	52	-6
2022	Jan	52	-8	50	-8	56	-8
	Feb	142	-20	136	-20	140	-19
	Mrt	5	-55	7	-55	8	-55
	Apr	25	-68	26	-68	28	-68
	Mei	74	-87	75	-86	75	-86
	Jun	127	-114	128	-114	129	-114
	Jul	3	-118	4	-118	3	-118
	Aug	26	-107	16	-107	12	-107
	Sep	165	-60	160	-60	131	-60

In Tabel 1 is te zien dat de ETref MAK gegevens weinig verschillen tussen de drie locaties. Deze verdamping varieert eerst op grotere ruimtelijke schaal binnen Nederland. De neerslag kan wel verschillen te zien geven, wegens lokale buien die al dan niet de locaties treffen.

In de periode maart t/m september is de ETref MAK veelal hoog. Deze maanden bepalen grofweg het groeiseizoen van het gras. In 2022 is de periodesom van de deze verdamping, die ongeveer gelijk is aan de potentiële verdamping van gras (zonder stressfactoren zoals teveel vocht, te weinig zuurstof, teveel hitte), op alle drie locaties ongeveer 85 mm hoger dan in 2021 (+15%). Dit kan

leiden, vanuit de optiek van gewastranspiratie gezien, tot een hogere droge-stof productie in 2022 (zie Paragraaf 4.7; data KTC Zegveld 2021, 2022).

4.2 Werking van systemen

In de aangelegde systemen wordt water vanuit de waterschaps-waterlopen in de hoogwatersloten gepompt bij Heikoop en Baan. Bij Verhoef vindt dit plaats onder vrij verval vanuit de noordelijk gelegen eendenkooi. Vervolgens wordt water vanuit de hoogwatersloten in de sub-irrigatiesystemen gepompt, als de vlottersystemen dit aangeven (aanslagpeil). We streven op de proefpercelen een grondwaterstand na van net onder het kleidek, dan wel van 20 cm-m.v. à la de Hoogwaterboerderij te Zegveld (<https://www.ktczegveld.nl/hoogwaterboerderij/>).

4.2.1 Hoogwatersloten

In het voorjaar van 2022 zijn er nieuwe vlotters geplaatst om de peilen beter te kunnen sturen. In Figuur 11 (data sloot proefpercelen) is te zien dat de nieuwe vlotter voor een strakker slootpeil zorgt met een schommeling van minder dan 1 cm. Korte pieken in de hoogwatersloot worden veroorzaakt door intensieve neerslag/buien. Het slootpeil is gemiddeld ongeveer 20 cm hoger dan het polderpeil t.o.v. gemiddeld maaiveld.

In Figuur 12 zijn de waterpeilen van de kavelsloten ('sloot sub. irr.') te zien voor 2021 (oranje) en 2022 (blauw) en vergeleken met de waterpeilen in de polderwatergangen ter plaatse ('sloot referentie'). WSRL hanteert hogere slootpeilen in de zomer (+10 cm) dan in de winter, maar neigt steeds meer naar gelijke, jaarrond identieke slootpeilen ('streefpeilen').

De waterpeilen bij Baan laten een duidelijk hoger slootpeil zien dan in de poldersloot (+15 cm). In het voorjaar van 2022 komt de poldersloot twee keer kort boven het streefpeil door hevige neerslag; vervolgens wordt het slootpeil 's zomers constant hoger gehouden. Bij Baan is in 2022 het verhoogde slootpeil ongeveer 25 tot 30 cm-m.v. In augustus 2022 is het tijdelijk lager geweest.

De slootpeilen bij Verhoef laten een duidelijk hoger peil zien in het najaar van 2021 en het voorjaar 2022, daarna stijgt het polderpeil (eind mei 2022) en blijft het hoogwaterpeil in de sloten rondom het proefperceel schommelen rondom het polderpeil. Het verschil tussen polderpeil en dat in de hoogwatersloot neemt af, tot half augustus 2022, dan is het peil weer hoger dan in de polder (+10 cm). Ook hier zijn de twee neerslag-gebeurtenissen te zien in het voorjaar van 2022; het polderpeil komt dan twee keer boven het streefpeil. Het slootpeil is gemiddeld 5 cm hoger dan het polderpeil t.o.v. gemiddeld maaiveld. Bij Verhoef is in 2022 het verhoogde slootpeil ongeveer 35 cm-m.v.

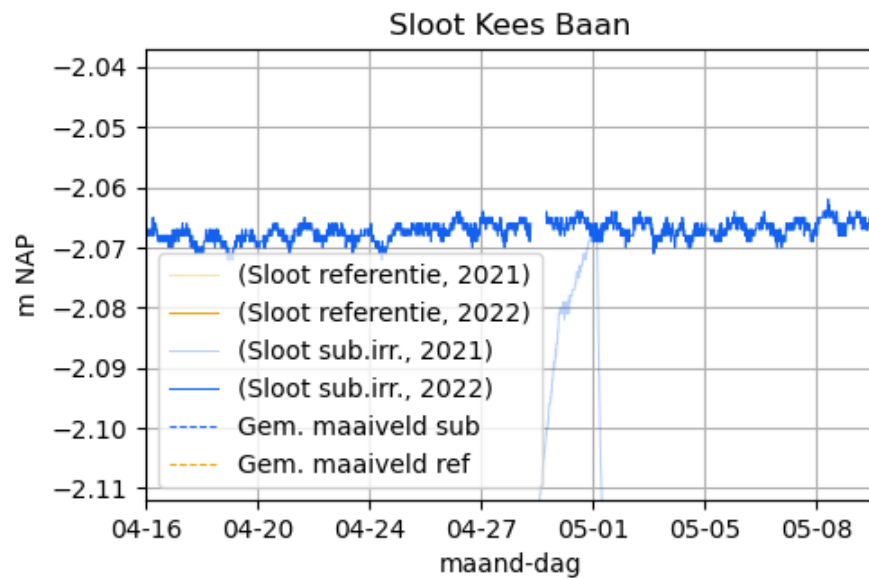
De slootpeilen bij Heikoop rondom het proefperceel zijn in het najaar van 2021 hoger (+20 tot +30 cm) dan het polderpeil. In het voorjaar van 2022 zakt het waterpeil van de hoogwatersloot tot bijna polderpeil. In maart 2022 is het peil van de hoogwatersloot weer gestegen en blijft dit meestal hoger, op een aantal momenten na (begin juni en begin augustus 2022). De nieuwe vlotter zorgt voor minder variatie (ongeveer 4 cm) in het peil vanaf voorjaar 2022. Bij Heikoop is in 2022 het verhoogde slootpeil ongeveer 20 cm-m.v., maar ook soms aan maaiveld (september 2022).

Samengevat:

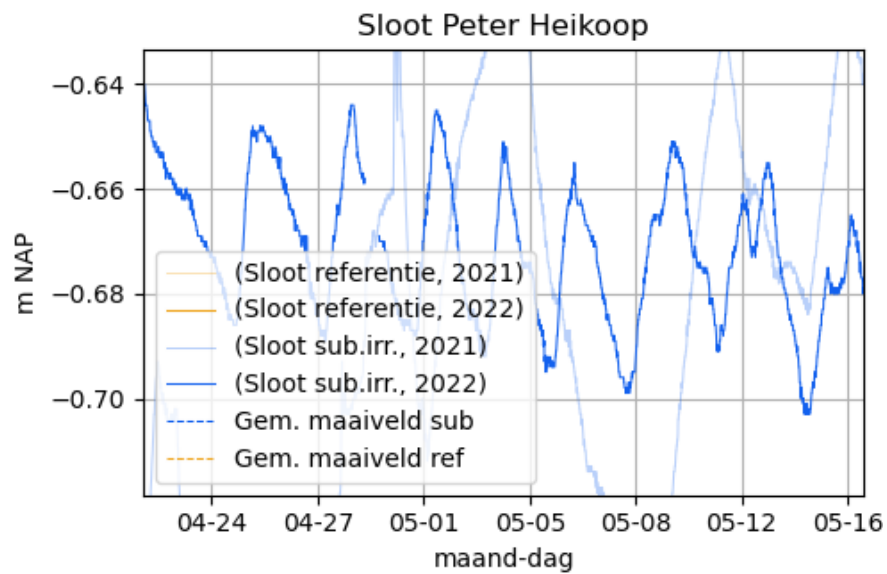
- De wateraanvoer naar de afgedamde kavelsloten zorgde binnen de groeiseizoenen voor hogere slootpeilen bij alle agrariërs; idem in het najaar van 2021 en voorjaar van 2022;
- Slootpeilen in de polder pieken bij veel neerslag/zware buien, daardoor pieken ook de slootpeilen rondom de proefsloten, omdat deze dan niet kunnen afwateren. De daling van de piek in de slootpeilen van de proefpercelen is even snel als de daling van het polderpeil;

- Nieuwe vlotters zorgen voor een meer constant (voldoende) en hoger (hoog)waterpeil in 2022 dan in 2021 in periodes zonder neerslag.

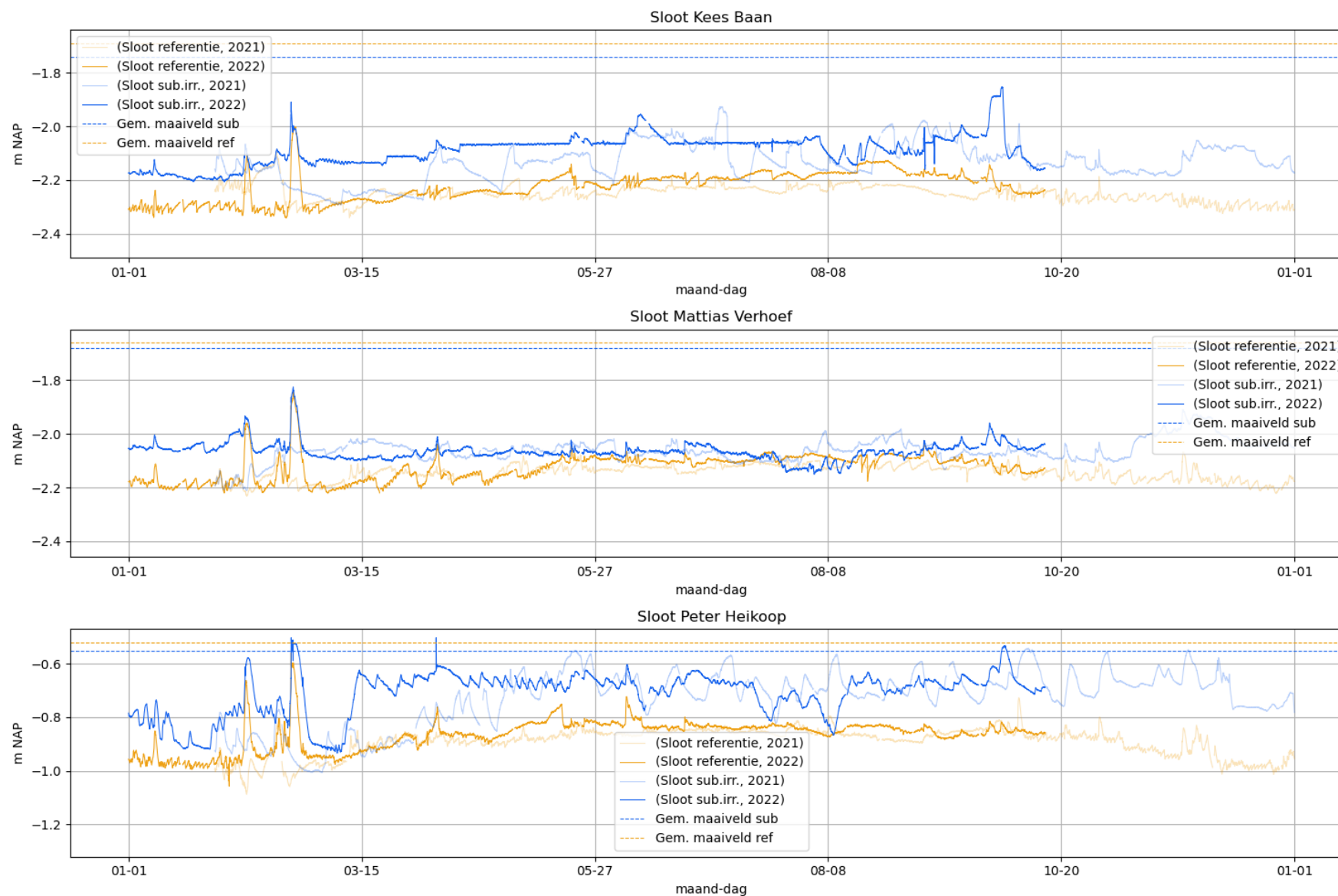
Variatie slootpeil Baan in 2022 (donkerblauwe lijn): ongeveer < 1 cm



Variatie slootpeil Heikoop: ongeveer <5 cm



Figuur 11. Waterpeilen sloot proefpercelen (sloot sub.irri.) Baan en Heikoop in 2021 en 2022.

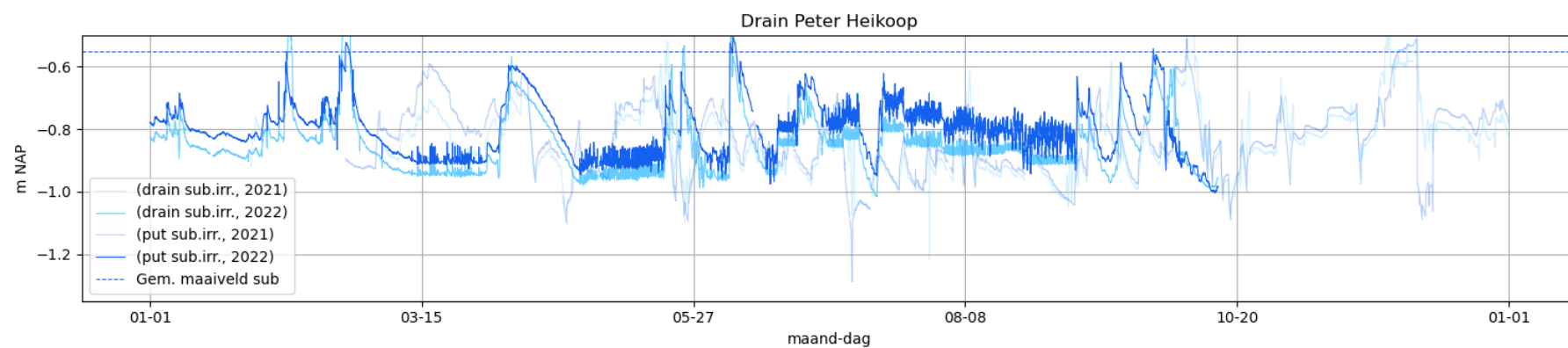
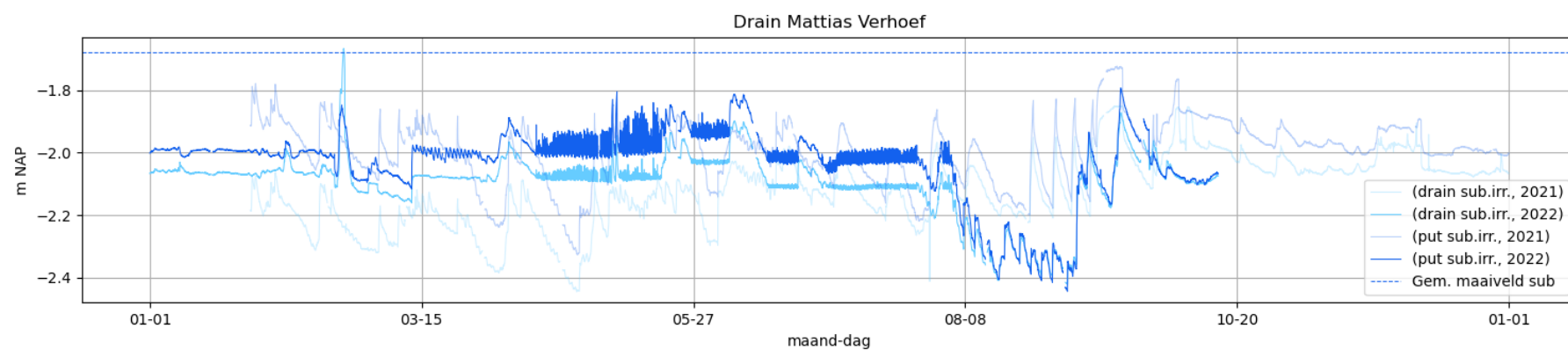
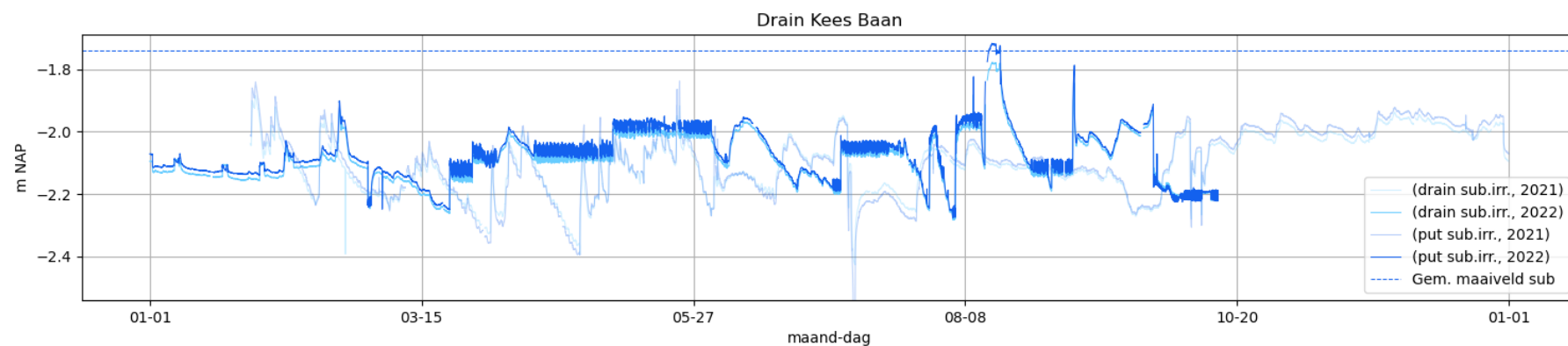


Figuur 12. Waterpeilen [m t.o.v. NAP] sloot proefpercelen (sloot sub.irri.; in blauw) en sloot referentieperceel (in oranje) in 2021 en 2022 bij Baan, Verhoef en Heikoop. Op de X-as staan de maanden-dagen van het jaar (03-15 staat voor 15 maart). Gemiddelde maaiveldhoogte staat bovenin de drie grafieken als doorgetrokken lijn (sub=proefperceel).

4.2.2 Drainage en subirrigatie

Vanuit de hoogwatersloot van de proefpercelen kan via een pomp op zonne-energie water in de pompput worden gepompt. De instelling van de vlotter bepaalt dit welke waterstand in de put dit leidt. Vervolgens kan het water via het drainagesysteem in de (klei-op-)veenbodem infiltreren. De werking van het drainagesysteem kan worden gecontroleerd door het waterpeil in de pompput te vergelijken met het waterpeil in een ondergrondse drainagebuis verderop in het veld. Als de waterstand in de drain nagenoeg gelijk is aan die van de pompput, dan correspondeert de waterstand in pompput (in voldoende mate) met die in de drainagebuis. Dit is dan een teken dat de opgelegde en gewenste waterstand in het ondergrondse buizensysteem correct is.

Op alle locaties laten sensoren in de pompput en in de drain hetzelfde verloop zien van de waterstand. Dit betekent dat de drain in goede verbinding staat met de put en water vrij de drains inloopt. Bij Verhoef en Heikoop zit er maximaal enkele centimeters verschil in de gemeten waterstanden in de pompput en de drain. De systemen werken dus naar behoren en de waterstand in de pompputten is een goede maat voor de waterstand in de drainagesystemen. Vanuit de drainagebuizen kunnen de grondwaterstanden op het gewenste niveau gebracht en gehouden worden.



Figuur 13. Waterstanden [m t.o.v. NAP] in pompputten (donkerblauw) en in drainagesysteem (lichtblauw) verderop in het veld van proefpercelen in 2021 en 2022 bij Baan, Verhoef en Heikoop. Op de X-as staan de maanden-dagen van het jaar (03-15 staat voor 15 maart). Gemiddelde maaiveldhoogte staat bovenin de drie grafieken als doorgetrokken lijn (sub=proefperceel).

4.3 Effect op grondwaterstand, kwel/wegzijging en bodemvochtgehalte

De hoogwatersloten en wateraanvoer door subirrigatie naar de bodem zorgen voor nattere condities op alle locaties. Hieronder is eerst het effect op de freatische grondwaterstand beschreven. Daarna bespreken we het effect op het verschil tussen freatische grondwaterstand en de stijghoogte in de Holocene deklaag. Dit verschil is de verticale gradiënt in de grondwaterstand die de wegzijging naar dan wel kwel vanuit de deklaag bepaalt. Wegzijging treedt op als de freatische grondwaterstand (in m+NAP) op een perceel hoger is dan de stijghoogte (in m+NAP) in/onder de deklaag. Kwel treedt op als deze stijghoogte (in m+NAP) hoger is dan de freatische grondwaterstand (in m+NAP). Tenslotte bespreken we het effect van de wateraanvoer op het bodemvochtgehalte.

4.3.1 Freatische grondwaterstand

De gemeten freatische grondwaterstanden op de proef- en referentiepercelen staan weergegeven in Figuur 14 en 15. voor Baan (boven), Verhoef (midden) en Heikoop (beneden). De donkergekleurde lijnen tonen de metingen van 2022, de lichtere die van 2021; in blauw staan de metingen van de proefpercelen, in oranje die van de referentiepercelen.

Bij Verhoef hebben we te maken gehad met een defecte sensor vanaf medio augustus 2021 en in de eerste helft van 2022 in het proefperceel. Bij Heikoop was dit ook het geval van medio oktober 2021 tot februari 2022 en vanaf april 2022. Dit betrof in alle gevallen fabrieksfouten, die in het begin niet opvielen, omdat de sensoren goed leken te meten: de waarnemingen daalden in de tijd. Daardoor kwamen we er pas later achter dat de sensoren niet goed werkten, op een moment dat ze echt uitvielen (data niet getoond). We kunnen deze technische uitval grotendeels en indien nodig later reconstrueren met metingen van andere sensoren, omdat er geen echt inhoudelijke problemen door ontstaan zijn voor de analyse in deze tussenrapportage.

Het sub-irrigatie perceel van Baan laat in het najaar van 2021 (oktober) tot voorjaar van 2022 ongeveer een gelijke grondwaterstand t.o.v. maaiveld zien als het referentieperceel. Vanaf maart 2022 loopt de grondwaterstand op bij het sub-irrigatie perceel; deze stijging is eerder in het voorjaar vergeleken met die in 2021. Destijds liep de grondwaterstand in het referentieperceel door regenval pas op na april 2021. Vervolgens komt op het referentieperceel de grondwaterstand in april 2022 weer gelijk met de grondwaterstand van het sub-irrigatie perceel door gevallen neerslag. Vervolgens zakt de grondwaterstand weg in het referentieperceel in de maanden april en mei 2022. In deze maanden blijft de grondwaterstand hoog bij het sub-irrigatie perceel. De grondwaterstand bij subirrigatie is was tot 40 cm hoger in juli 2022, vergeleken met de grondwaterstand op het referentieperceel. In de zomer van 2022 is de grondwaterstand op het proefperceel 20 cm-m.v., op het referentieperceel 40 tot >60 cm-m.v. Door de regenval in september 2022 komen ook de grondwaterstanden op het referentieperceel weer omhoog.

De metingen bij Baan laten zien dat de grondwaterstanden op het proefperceel in natte perioden vrijwel gelijk kunnen zijn aan die op het referentieperceel, dat op dat moment van boven door de neerslag is gevoed. De waargenomen gang in de grondwaterstand is dan identiek. Als het qua weer droger wordt, dan zijn de grondwaterstanden op het proefperceel duidelijk hoger en meer stabiel hoog, als gevolg van de subirrigatie en hogere slootpeilen. Tijdens en direct na buien wordt ook de grondwaterstand op het referentieperceel weer hoog, maar deze zakt daarna sneller en verder

dieper weg. De proef creëert dus verschil in gemeten freatische grondwaterstanden. In 2021 waren de verschillen kleiner omdat dat een doorgaans natter jaar was en er minder water voor subirrigatie hoefde te worden toegepast. In 2022 waren vooral de neerslaghoeveelheden in de maanden juni en september reden ervoor dat de grondwaterstand op het referentieperceel steeg, terwijl die op het proefperceel al hoog/hoger was door de subirrigatie.

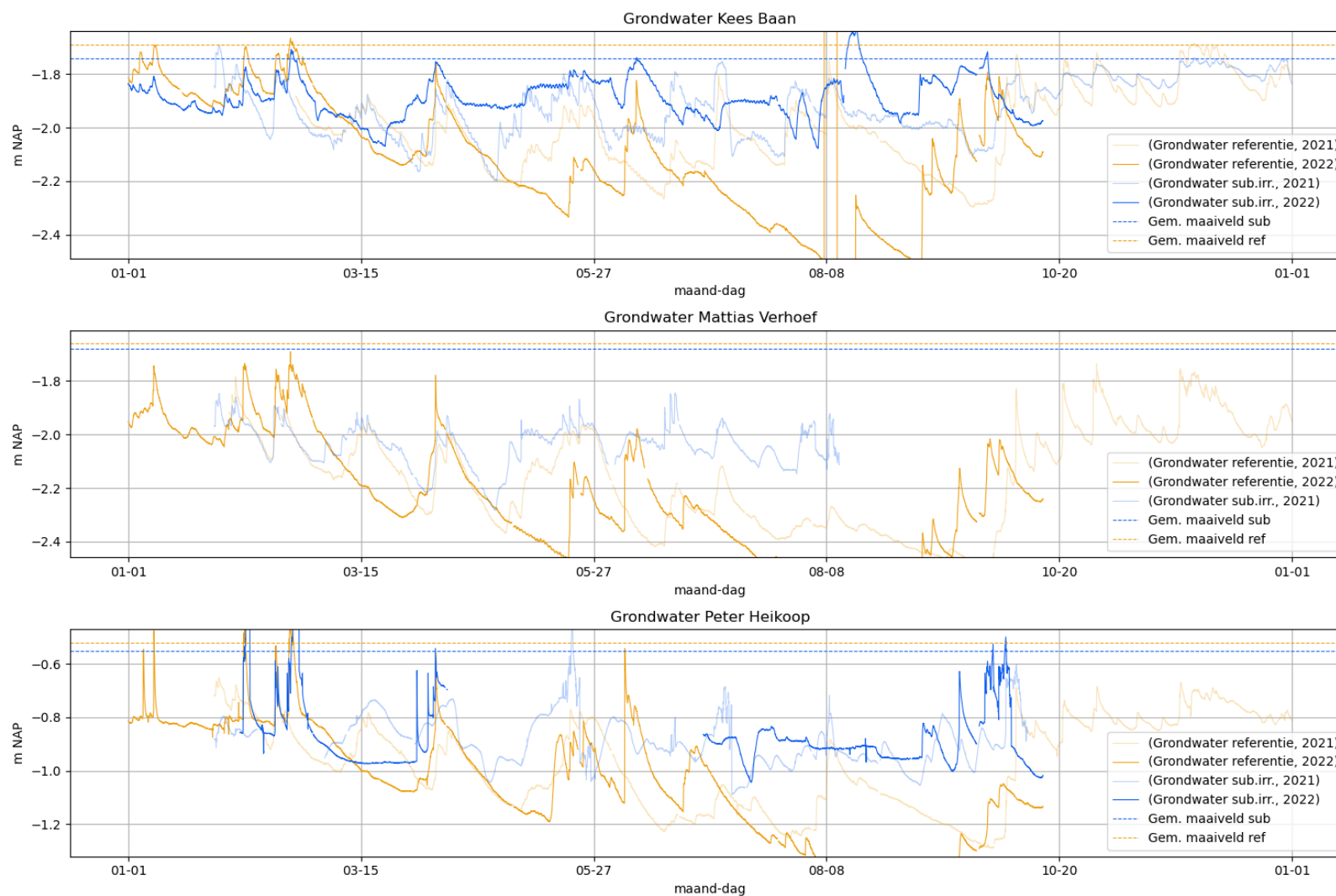
Bij Verhoef was in 2021 de grondwaterstand bij subirrigatie 20 cm hoger vergeleken met de grondwaterstand op het referentieperceel. In de zomer van 2021 was de grondwaterstand op het proefperceel 20-30 cm-m.v., op het referentieperceel 50-60 cm-m.v. De freatische grondwaterstand is niet geregistreerd op het sub-irrigatie perceel van Verhoef in het najaar 2021 en voorjaar 2022. Dit komt door uitval van verschillende druksensoren door fabrieksfouten in de opeenvolgend vervangende sensoren. Ondertussen is er een nieuw type sensor geplaatst op de locatie. De verwachting is dat deze nieuwe sensor minder storingsgevoelig is.

Om toch het verloop van de grondwaterstand te bespreken op het sub-irrigatie perceel kan er worden gekeken naar het waterpeil in de drain (zie ook vorige sectie). In Figuur X is te zien dat het waterpeil in de drain bijna hetzelfde verloop laat zien als de ondiepe grondwaterstand in 2021, absoluut gezien 10-15 cm lager dan de grondwaterstand. De waterstand in de drain in 2022 laat een vlakke stand zien van ongeveer 2,0 m-NAP, met enige pieken door regenval. Dit betekent dat de freatische grondwaterstand in 2022 veelal hoger zal zijn geweest dan 2 m-NAP, tussen 25 en 35 cm-m.v. Dit is het geval tot augustus 2022, toen daalde de waterstand in de drain, om in september weer te stijgen door de neerslag. De grondwaterstand bij het referentieperceel van Verhoef zakt weg in het voorjaar van 2022 na een piek door neerslag begin april 2022 tot bijna 80 cm-m.v. in medio mei 2022. De neerslag in juni 2022 zorgt voor een verhoging, maar daarna zakt de grondwaterstand weg tot >80 cm-m.v. Medio oktober 2022 is deze ongeveer 60 cm-m.v.

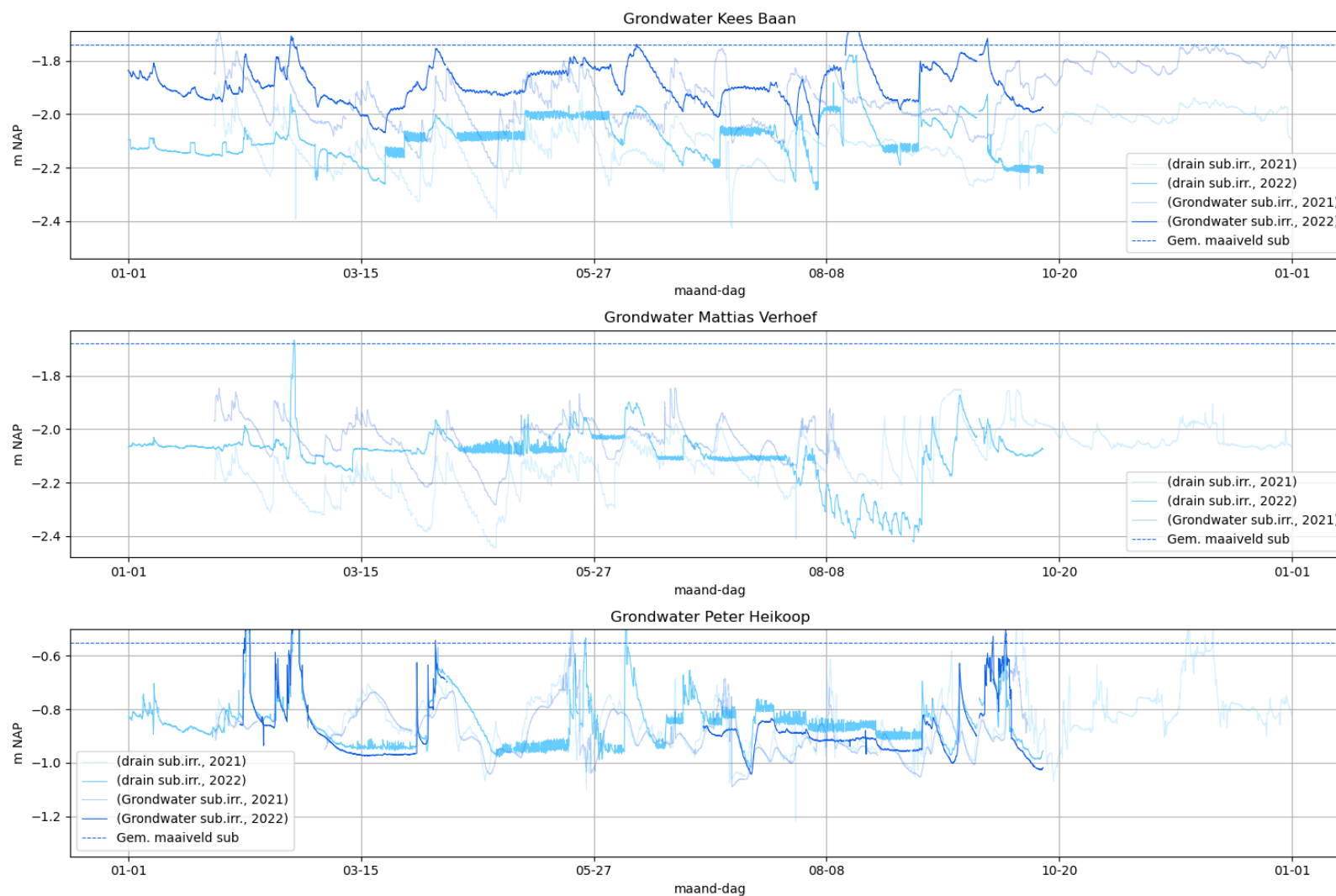
Bij Heikoop zakte in 2021 op het referentieperceel de freatische grondwaterstand weg naar 60-70 cm-m.v. in maart-mei 2021 tot 70-80 cm-m.v. in augustus-september 2021. Op het proefperceel was deze daling 20-30 cm geringer tot juni 2021. Rond augustus-september 2021 was de freatische grondwaterstand 10-30 cm hoger dan op het referentieperceel. Bij Heikoop is de druksensor meerdere keren uitgevallen in het najaar van 2021 en het voorjaar van 2022. Ook hier biedt de wel gemeten waterstand in de drain enige houvast om uitspraken te doen over de grondwaterstand.

De waterstand in de drain laat zien dat deze in 2021 en in voorjaar 2022 goed overeenkomt met de gemeten grondwaterstand (verschil van 5 cm). Het waterpeil is hoog gehouden vanaf maart 2022 op een niveau van 40 cm-m.v., ongeveer gelijk aan de onderkant van het kleidek op de veraarde veen-tussenlaag. In mei, juni en juli van 2022 is de waterstand herhaaldelijk hoger, met pieken tot aan maaiveld. Dit laatste is nog duidelijker in september/oktober 2022 te zien. De grondwaterstand op het referentieperceel is weggezakt in het voorjaar vanaf april 2022. In deze reeks zijn ook pieken te zien vanwege neerslag in juni 2022, maar de daling bereikt waarden van de grondwaterstand tot >80 cm-m.v. Door de neerslag in september 2022 komt de grondwaterstand omhoog, medio oktober 2022 is deze ongeveer 60 cm-m.v., bij een polderpeil van 30 cm-m.v.

De metingen bij Verhoef en Heikoop laten vergelijkbare beelden en verschillen zien. Bij Heikoop zijn de verschillen wat grilliger in de tijd in vergelijking met de andere twee meetlocaties, omdat daar vaker en sneller met het systeem wordt gestuurd en wordt ingegrepen door water aan en af te voeren.



Figuur 14. Freatische grondwaterstanden [m t.o.v. NAP] op proefpercelen (in blauw) en referentiepercelen (oranje) in 2021 en 2022 bij Baan, Verhoef en Heikoop. Op de X-as staan de maanden-dagen van het jaar (03-15 staat voor 15 maart). Gemiddelde maaiveldhoogte staat bovenin de drie grafieken als doorgetrokken lijn (sub.irr.=proefperceel).



Figuur 15. Freatische grondwaterstanden [m t.o.v. NAP] op proefpercelen (sub.irr.) en waterstanden in de drainbuis in 2021 (lichtblauw) en 2022 (donkerblauw) bij Baan, Verhoef en Heikoop. Op de X-as staan de maanden-dagen van het jaar (03-15 staat voor 15 maart). Gemiddelde maaiveldhoogte staat bovenin de drie grafieken als doorgetrokken lijn.

4.3.2 Kwel en wegzijging

In het projectgebied treedt er qua stroming van het grondwater naast een stroming van en naar de drainagebuizen en de kavelsloten ook een diepere stroming op, van en naar de zandlaag onder het klei-op-veen-pakket (deklaag). Als de grondwaterdruk in het zand hoger is dan die van het freatisch grondwater in de percelen, dan treedt er kwel op, een opwaartse stroming. Als de grondwaterdruk in het zand lager is dan die van het freatisch grondwater in de percelen, dan treedt er wegzijging op, een neerwaartse stroming. Dan verliezen we water naar de ondergrond. Om deze stromingsrichting te kunnen bepalen, hebben we op elke meetlocatie sensoren in ondiepe, freatische peilbuizen staan én in diepe peilbuizen bij het zand. Door subirrigatie en hogere slootpeilen verhogen we freatische grondwaterstand. Als de druk van het grondwater in het zand gelijk blijft, dan kunnen we de kwel/wegzijging op de proefpercelen gaan beïnvloeden met de proef.

De drukverschillen op de proef- en referentiepercelen staan weergegeven voor Baan (boven), Verhoef (midden) en Heikoop (beneden) in Figuur 16. De donkergekleurde lijnen tonen de metingen van 2022, de lichtere die van 2021; in blauw staan de metingen van de proefpercelen, in oranje die van de referentiepercelen. In 2022 is er deels uitval geweest van sensoren in peilbuizen op de proefpercelen (zie tekst hierboven).

Bij Baan is er in de reguliere situatie op het referentieperceel sprake van wegzijging tot een soms neutrale situatie, i.c. geen stroming door de deklaag van en naar de zandlaag. De wegzijging treedt met name op in de winter, maar ook in delen van de zomer. De proef zorgt voor een vergelijkbare situatie tot ook een situatie met meer wegzijging naar de ondergrond. Echter, in januari-februari 2022 is de wegzijging op het referentieperceel groter, omdat daar in die periode de freatische grondwaterstanden hoger zijn dan op het proefperceel. Vanaf medio maart 2022 is de grondwaterstand op het proefperceel weer hoger en vindt daar meer wegzijging plaats (zie Figuur 14 in vorige sectie freatisch grondwater).

Bij Verhoef en Heikoop is er sprake van kwel. Bij Verhoef verandert op het proefperceel de kwelsituatie naar een meer neutrale situatie door de hogere grondwaterstanden. Deze remmen de kwel af, hogere grondwaterstanden drukken de kwelstroom 'weg'. Op het referentieperceel is het omgekeerde aan de hand. Als de freatische grondwaterstanden aldaar zakken, dan neemt de kweldruk op dat perceel toe (augustus 2022).

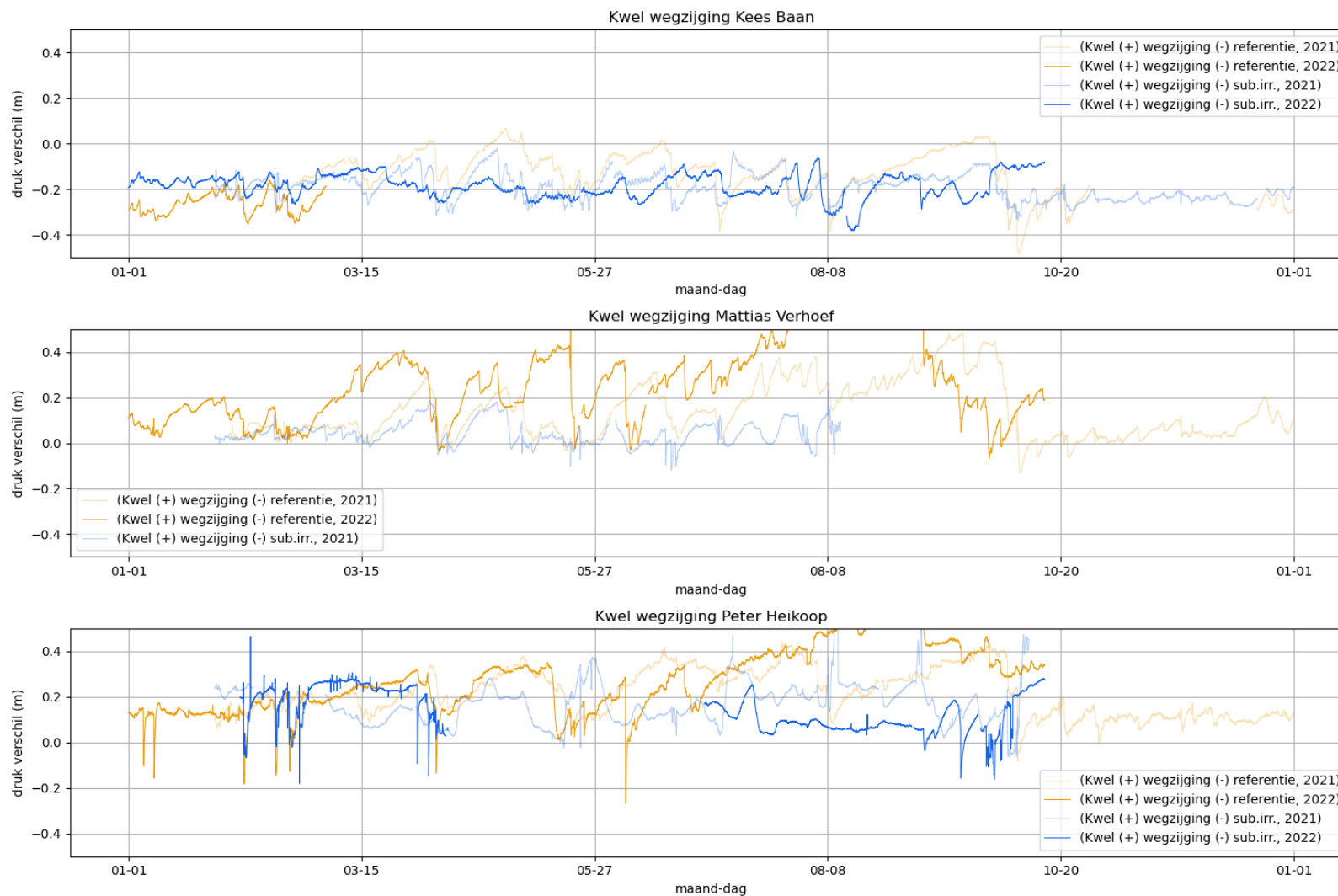
Bij Heikoop is dat laatste ook het geval, maar in mindere mate en met een meer grillig verloop in de tijd. De beschikbare metingen laten zien dat van medio juni tot medio oktober 2022 de kweldruk op het proefperceel sterker wordt verminderd dan op het referentieperceel, met name in augustus 2022 tot de regenval in september.

De metingen en berekende drukverschillen laten zien dat we met de proeven de kwel/wegzijging en daarmee de verticale stroming van het grondwater op de percelen beïnvloeden. Om hoeveel m³ water dit gaat, kunnen we niet (direct) zeggen. Die hoeveelheid wordt mede bepaald door de hydraulische weerstand van het klei-op-veen-pakket, waar de omvang, in bijvoorbeeld mm/dag, maar niet de richting van grondwaterstroming door geremd wordt.

Samengevat zijn de resultaten inzake de effecten op de freatische grondwaterstand en op kwel/wegzijging als volgt:

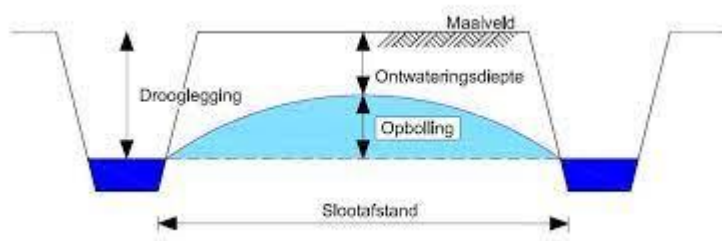
- De freatische grondwaterstand is verhoogd door de aanvoer van water via subirrigatie.
- Door uitval van druksensoren zijn er gaten ontstaan in de meetreeksen. Deze kunnen grotendeels worden opgevangen met de gemeten waterstand in de drain, die in correct-bemeten tijdperiodes goed overeenkomt met de freatische grondwaterstand.

- Bij Baan is er sprake van een gemiddelde wegzijging-situatie (grondwater van perceel stroomt naar beneden/deklaag) en bij Verhoef en Heikoop van een gemiddelde kwelsituatie (water stroomt van beneden/deklaag naar perceel).
- De reeds aanwezige wegzijging neemt toe en de reeds aanwezige kweldruk neemt af bij sub-irrigatie; de hogere grondwaterstanden geven extra voeding aan wegzijging en geven meer tegendruk op de stroming door kwel.

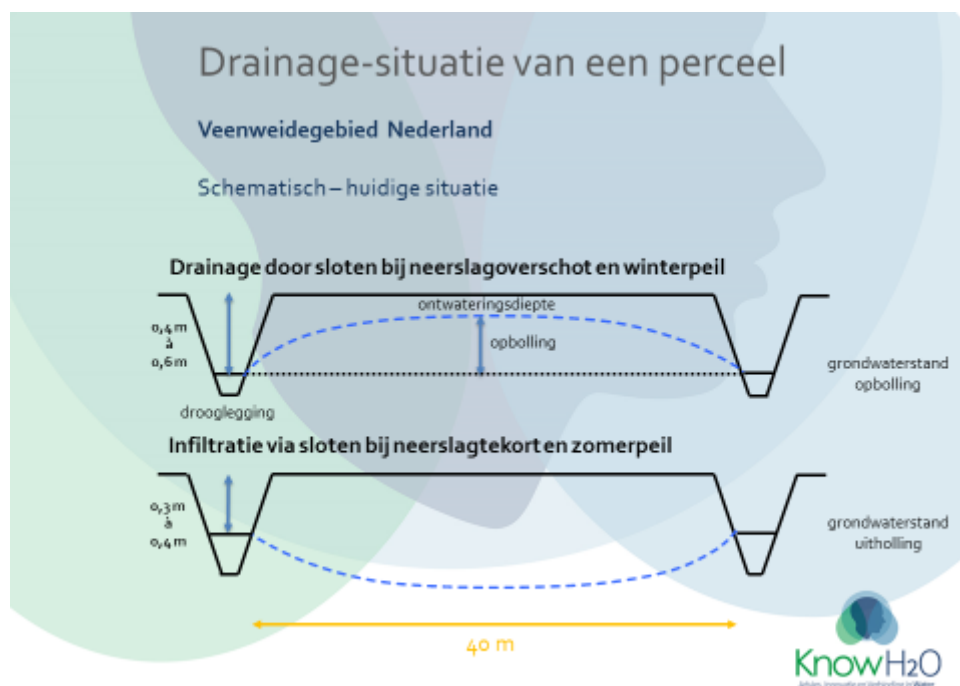


Figuur 16. Drukverschillen tussen freatische grondwaterstanden en stijghoogte onderin de deklaag [m] op proefpercelen (sub.irr.; in blauw) en referentiepercelen (referentie; in oranje) in 2021 en 2022 bij Baan, Verhoef en Heikoop. Op de X-as staan de maanden-dagen van het jaar (03-15 staat voor 15 maart). Positieve getallen duiden op kwel naar perceel, negatieve op wegzijging uit perceel.

De veldwaarnemingen brengen ons op het volgende inzake de effecten van het toepassen van regelbare drainage met subirrigatie, met drainafstanden van 6 m, op het patroon van de grondwaterstanden in een dwarsdoorsnede op de proefpercelen (begripen in Figuur 17). We schetsen een schematische situatie met een perceelbreedte van 40 m en een standaard-situatie van afvoer van water en van aanvoer van water via subirrigatie (Figuur 18). De slootpeilen bepalen samen met de weerstand van slootwand en de (klei-op-)veenlaag de vorm en hoogte van de opbolling en de uitholling. De uitholling is in de praktijk vaak groter (naar beneden) dan de opbolling (naar boven), omdat de intreeweerstand van water vaak hoger is dan de drainageweerstand. Deze uitholling in droge tijden zorgt ervoor dat op termijn veenweidepercelen hol komen te liggen en een of meerdere greppels nodig zijn voor de ontwatering.



Figuur 17. Schematische toelichting op de begrippen drooglegging, ontwateringsdiepte en opbolling (BBWM, 2007; begripen: NHV, 2002).

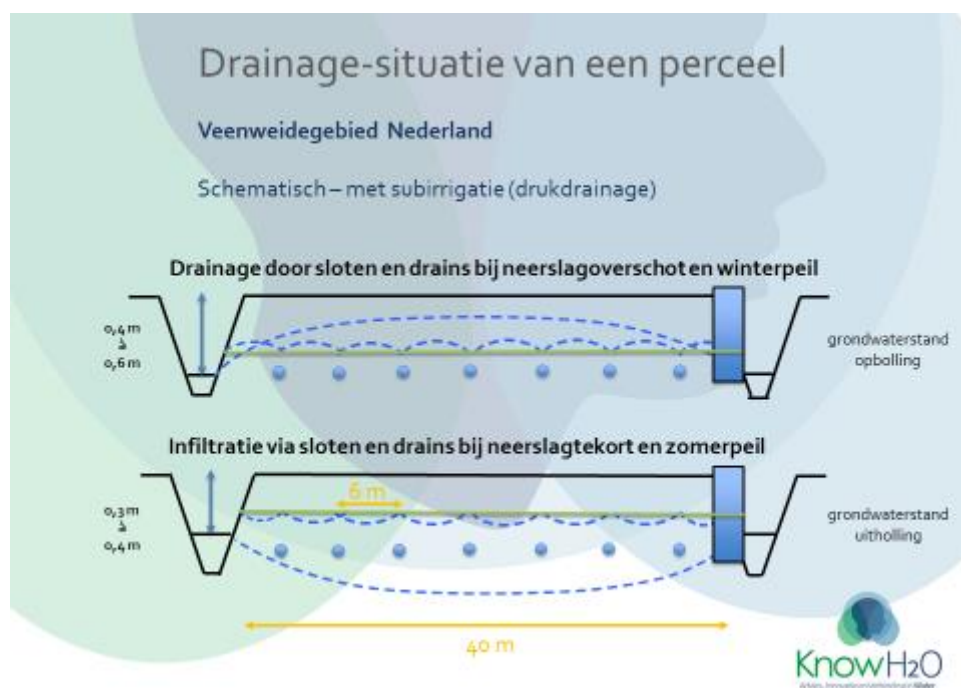


Figuur 18. Standaard-schematische situatie van een dwarsdoorsnede van een veenweideperceel van 40 m breed met bolle (afvoersituatie) en holle grondwaterstand (aanvoersituatie).

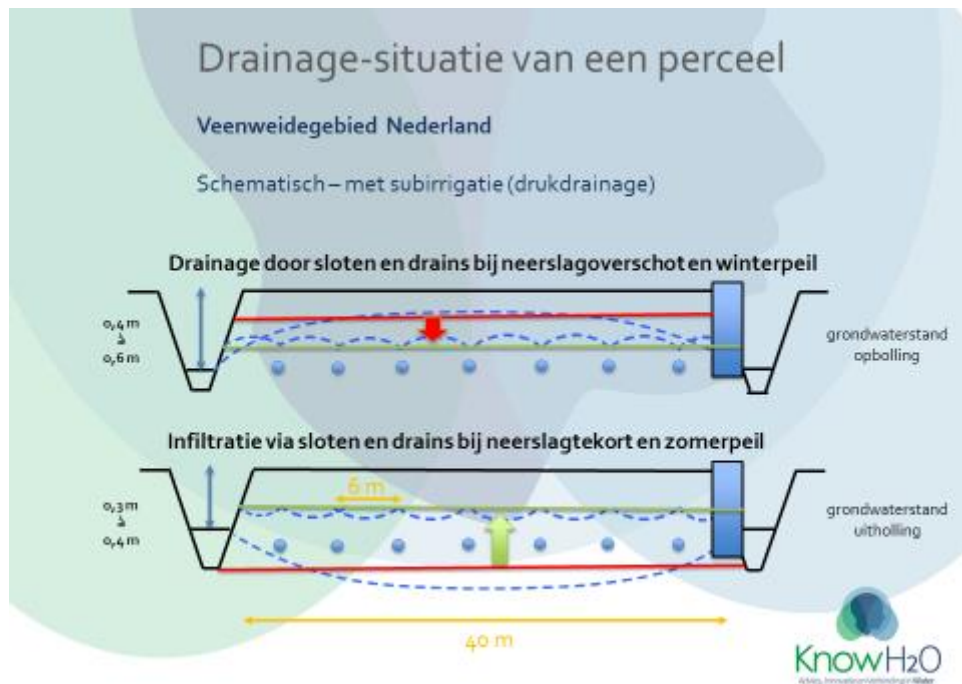
Wanneer een systeem van regelbare drainage met subirrigatie wordt aangelegd, dan verandert de drainage-situatie en de wateraanvoer-situatie. Er treedt een andere opbolling en uitholling op. Figuur 19 en 20 tonen dit, wederom op een schematische manier voor een standaard-situatie. We zien een ingestelde waterstand in de pompput rechts (groene lijn) en de bijbehorende vorm van de

2D-grondwaterstand in de dwarsdoorsnede. Het bovenste deel van de figuur schetst de afvoersituatie (drainage), het onderste deel de aanvoersituatie (subirrigatie). De gemiddelde opbolling (de verhoogde grondwaterstand tussen twee drains) bij afvoer is lager geworden dan in een situatie zonder regelbare drainage. De eerste reden hiervoor is de kleinere afstand tussen twee drains. De tweede reden is de sturing van de waterstand in de pompput. Deze laatste moet duidelijk hoger zijn dan in de getoonde figuur, om een vergelijkbare gemiddelde opbolling te verkrijgen bij een afvoersituatie zonder regelbare drainage.

Door subirrigatie via de drainagebuizen vindt er een duidelijke vermindering en afvlakking van de uitholling plaats. Er kunnen gemiddeld hogere grondwaterstanden gerealiseerd worden, zoals uit onze veldwaarnemingen blijkt (Figuur 14). Met deze figuren willen de duidelijk gemaakt hebben dat de drainage-situatie mogelijk kan leiden tot gemiddeld lagere grondwaterstanden op proefpercelen, als de waterstand in de pompput niet hoog genoeg wordt ingesteld.

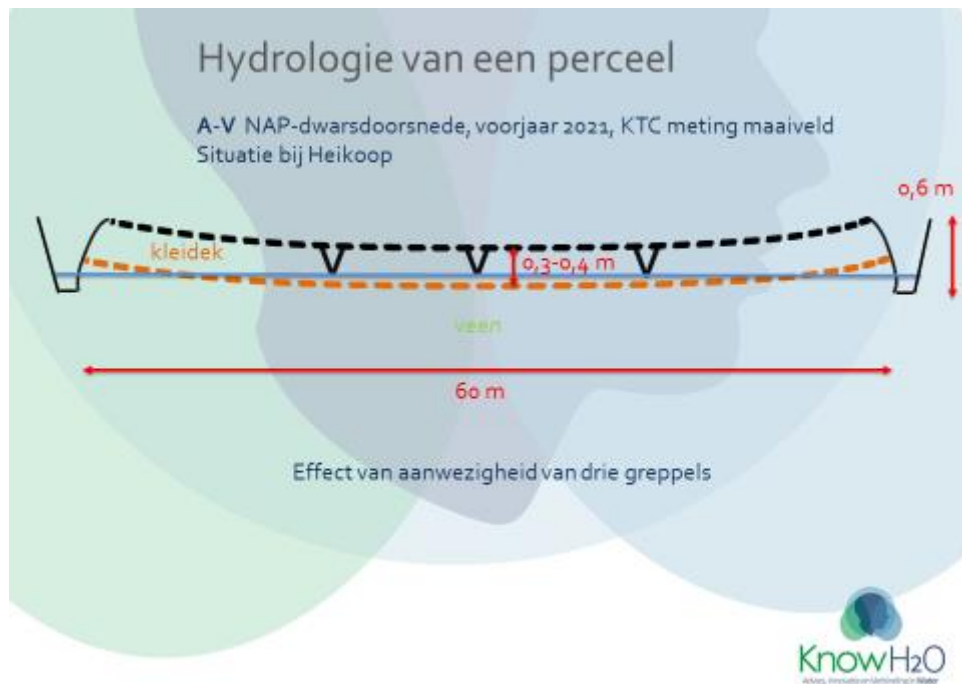


Figuur 19. Standaard-schematische situatie van een dwarsdoorsnede van een veenweideperceel van 40 m breed met drainagebuizen op 6 m afstand en bijbehorende bolle (afvoersituatie) en holle grondwaterstand (aanvoersituatie). Situatie met regelbaar drainagesysteem met subirrigatie. De groene lijn duidt de ingestelde waterstand in de pompput aan, in dit geval hoger dan de draindiepte.



Figuur 20. Standaard-schematische situatie van een dwarsdoorsnede van een veenweideperceel van 40 m breed met drainagebuizen op 6 m afstand en bijbehorende bolle (afvoersituatie) en holle grondwaterstand (aanvoersituatie). Situatie met regelbaar drainagesysteem met subirrigatie. De groene lijn duidt de ingestelde waterstand in de pompput aan, in dit geval hoger dan de draindiepte (bij afvoer én aanvoer). De rode lijn dient ter aanduiding van de gemiddelde opbolling en uitholling van een standaard (referentie)perceel.

De vorm van het maaiveld en de aanwezigheid van greppels maakt de sturing meer complex. In de afvoersituatie en bij het hoog houden van de grondwaterstanden gaat de greppelligging en –diepte de drainage van water bepalen. Indien de waterstand in de pompput boven de diepte van de bodem van de greppels uitkomt, dan gaan de greppels (indien mogelijk – slootpeil) grondwater afvoeren naar de sloot. De grondwaterstand kan dan niet veel verder stijgen. Figuur 21 toont schematisch de situatie bij Heikoop voor een hol perceel met drie greppels. Uit Figuur 21 blijkt dat zowel in de afvoer- als in de aanvoersituatie de holle ligging in combinatie met de greppels de maximale hoogte van de grondwaterstand wordt bepaald door de diepte van en afwatering vanuit de greppels naar de sloot. Als deze greppels niet dicht worden gezet, dan zal er bij hoge grondwaterstand afvoer zijn en zal de grondwaterstand worden 'afgetopt'. In de aanvoersituatie zullen er bij de greppels plassen worden gevormd als de beoogde grondwaterstand, zoals ingesteld in de pompput, hoger is dan de greppeldiepte.



Figuur 21. Standaard-schematische situatie van dwarsdoorsnede veenweideperceel bij Heikoop van 60 m breed met drie greppels (zonder regelbare drainage). De blauwe lijn duidt het slootpeil aan bij winterpeil. De oranje lijn dient ter aanduiding van de onderkant van het kleidek.

We hebben in het project inmiddels ervaring opgedaan met de hier geschetste uitdagingen in het geval van holle percelen met greppels. Bij alle proefpercelen heeft dit tot aanpassingen van beheer en sturing en van doelen ten aanzien van beoogde grondwaterstanden geleid. De vorm van het maaiveld en de aanwezigheid van greppels zijn twee kenmerken/factoren die een rol spelen bij het succesvol toepassen en eventueel uitrollen van regelbare drainage met subirrigatie in de regio. Holle percelen en de aanwezigheid van greppels zijn beide apart en tezamen beperkend in het mogelijk verhogen van de grondwaterstand.

4.3.3 Bodemvochtgehalte

Bodemvochtgehalten worden gemeten op 0,2, op 0,4 en op 0,6 m-m.v. diepte in het bodemprofiel, midden tussen twee drainbuizen. De sensoren zijn niet gekalibreerd voor de specifieke situatie, hetgeen betekent dat ze niet per se absoluut gezien de correcte waarde geven. Wat ze wel te zien geven is het niveau van het vochtgehalte en de variatie in de tijd. Dit niveau past bij (klei-op) veenbodems, die in de zone waarin we meten (tot 60 cm-m.v.) deels veraard/moerig zijn (50-60 vol% vocht maximaal). Verschillen in het bodemvochtgehalte tussen alle percelen onderling kunnen beperkt optreden (<5%) omdat de bodemlaag waarin de sensor zit niet overal exact identiek is (zie ook Figuur 9, pF-curve). Dan kan het voorkomen dat een referentieperceel iets hogere getalswaarden te zien geeft dan een proefperceel.

Voor alle locaties en alle meetdieptes is in Figuur 22 te zien dat de bodemvochtgehalten op het proefperceel hoog en op peil blijven in de tijd. Voor alle referentiepercelen geldt dit niet, met name in 2022. De metingen in 2021 zijn veelal stabiel, behalve bij Heikoop op 0,2 m-m.v. (dalend). De metingen op 0,2 m-m.v. dalen in 2022 het eerst en het sterkst. De metingen op 0,4 en 0,6 m-m.v. dalen later en minder sterk. Het effect van regenval is duidelijk te zien op de referentiepercelen. Behalve bij Heikoop op 0,2 m-m.v. komen alle vochtgehalten weer omhoog. Dit kan komen door de

aanwezigheid van krimp-scheuren in (het bovenste deel van) de klei-op-veen-laag, waardoor de bodem aldaar tijdens en na regenval pas later in het seizoen vochtiger wordt.

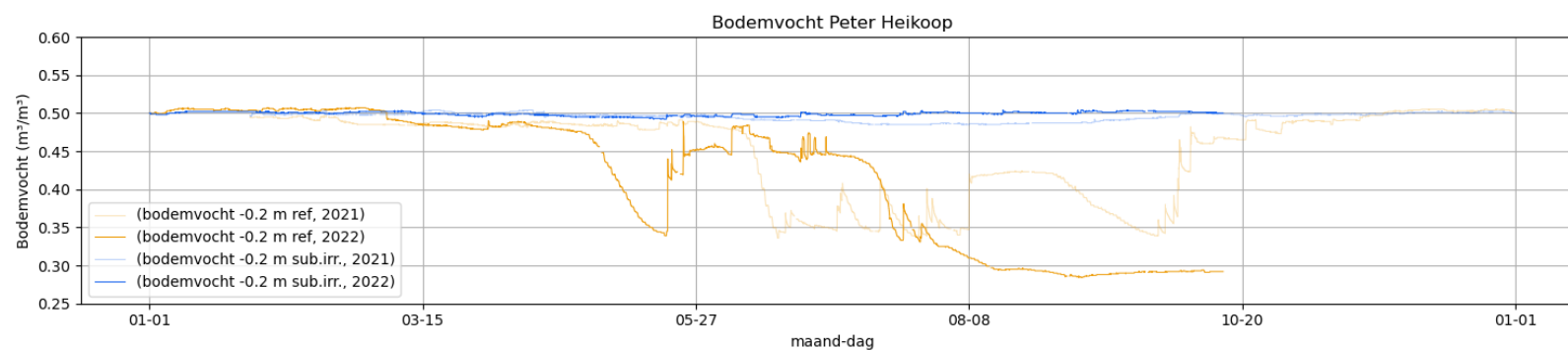
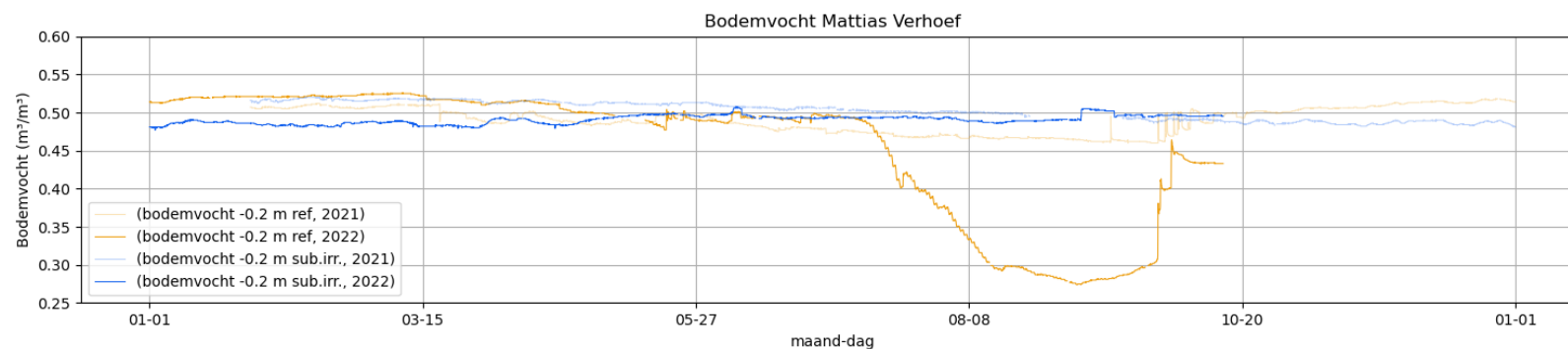
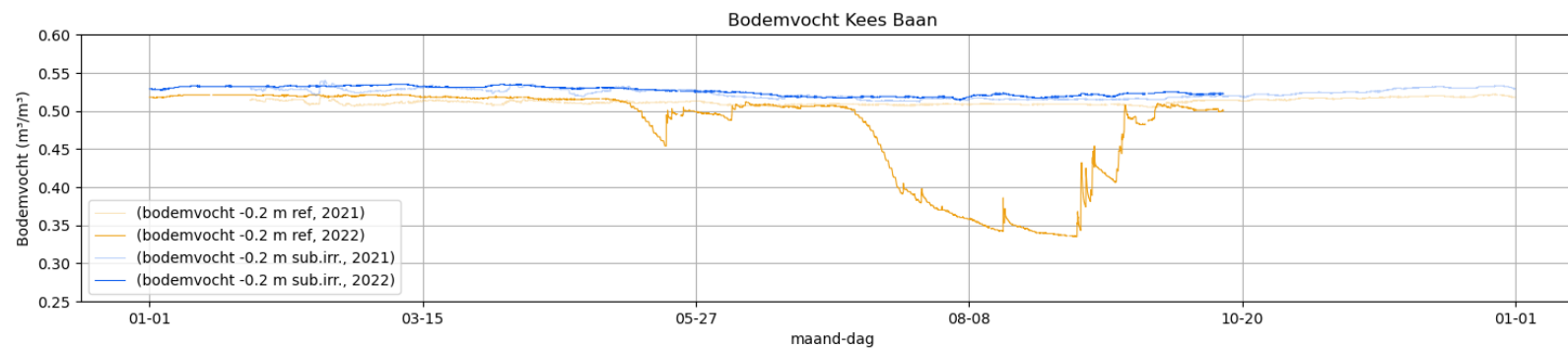
Voor alle drie de locaties geldt dat de metingen op 0,2 m diepte duidelijk drogere situaties aangeven op het referentieperceel in 2022. Het sterkste droogtesignaal in het (dalende) bodemvochtgehalte komt voor bij Verhoef en Heikoop in mei/juni en augustus 2022, een zwakker droogtesignaal is gemeten bij Baan. De sensoren op de proefpercelen geven dit signaal niet, daar blijft het bodemvochtgehalte op 0,2 m-m.v. aan de vochtige kant, ook in 2022. Bij Heikoop was het vochtgehalte in 2021 tijdelijk wat lager, in 2022 is dit constant hoog. De proefpercelen blijven dus duidelijk stabiel natter in ondiepe bodem op 0,2 m-m.v. dan de referentiepercelen.

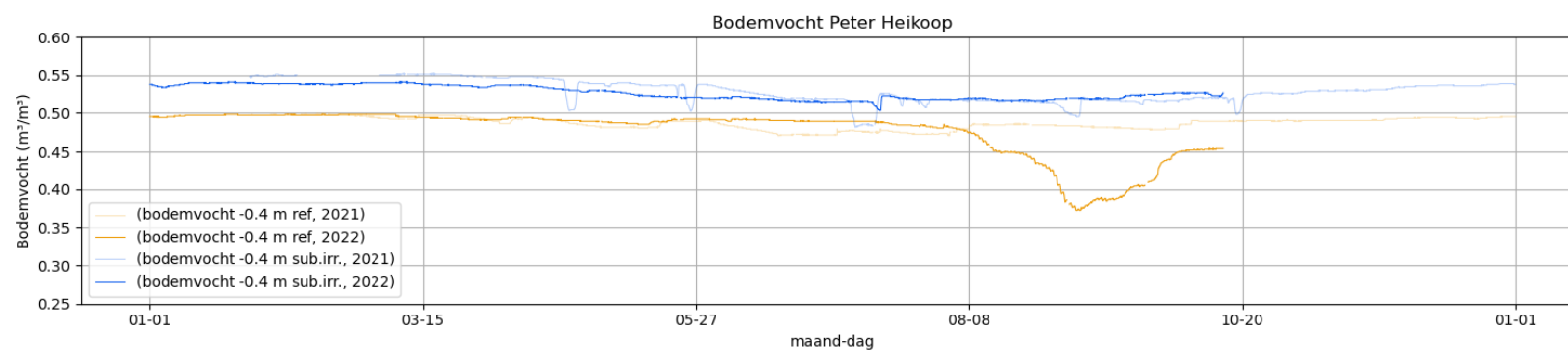
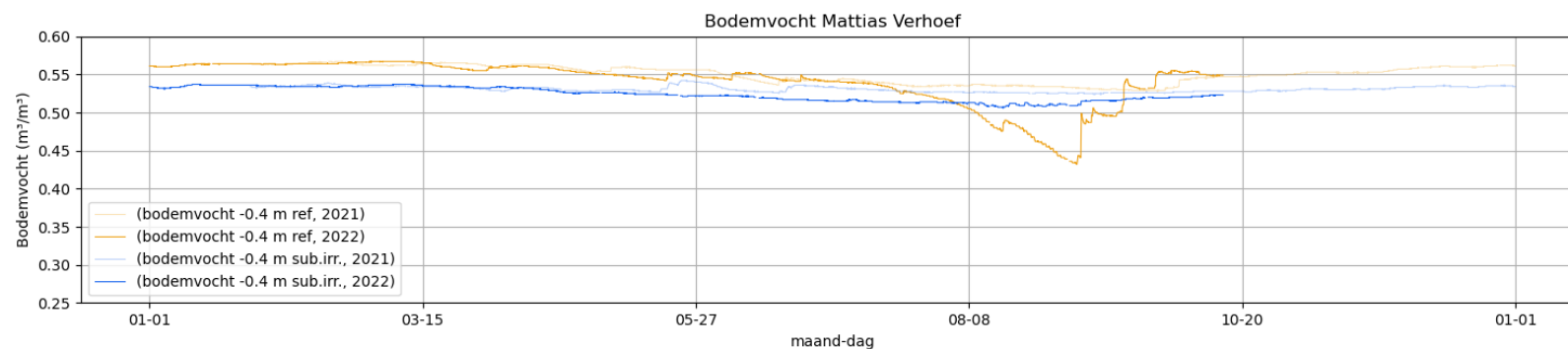
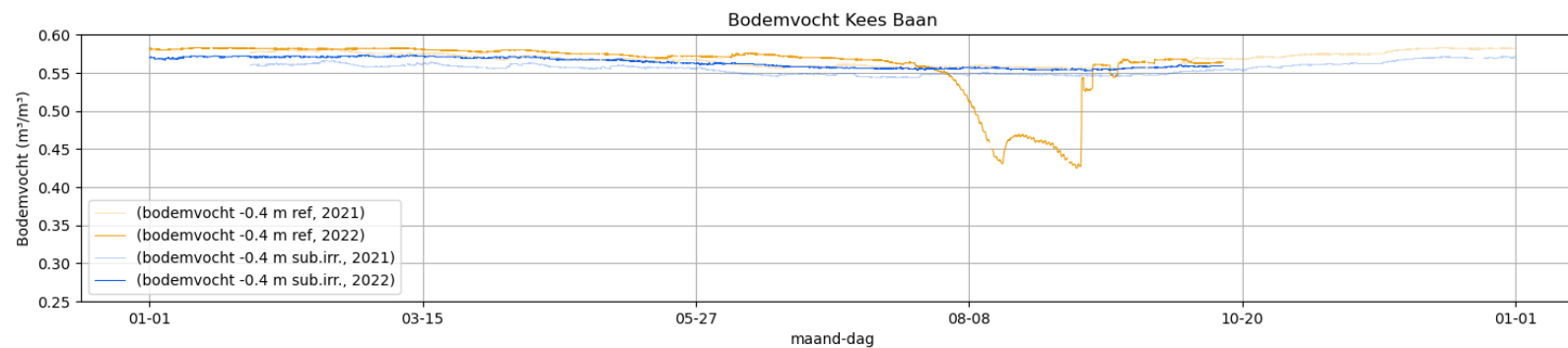
Op een diepte van 0,4 en 0,6 m-m.v. zijn alle sensorwaarden op alle plekken vrij constant in de tijd in 2021 en 2022. In die delen van het bodemprofiel is de grond vochtig gebleven op alle proefpercelen.

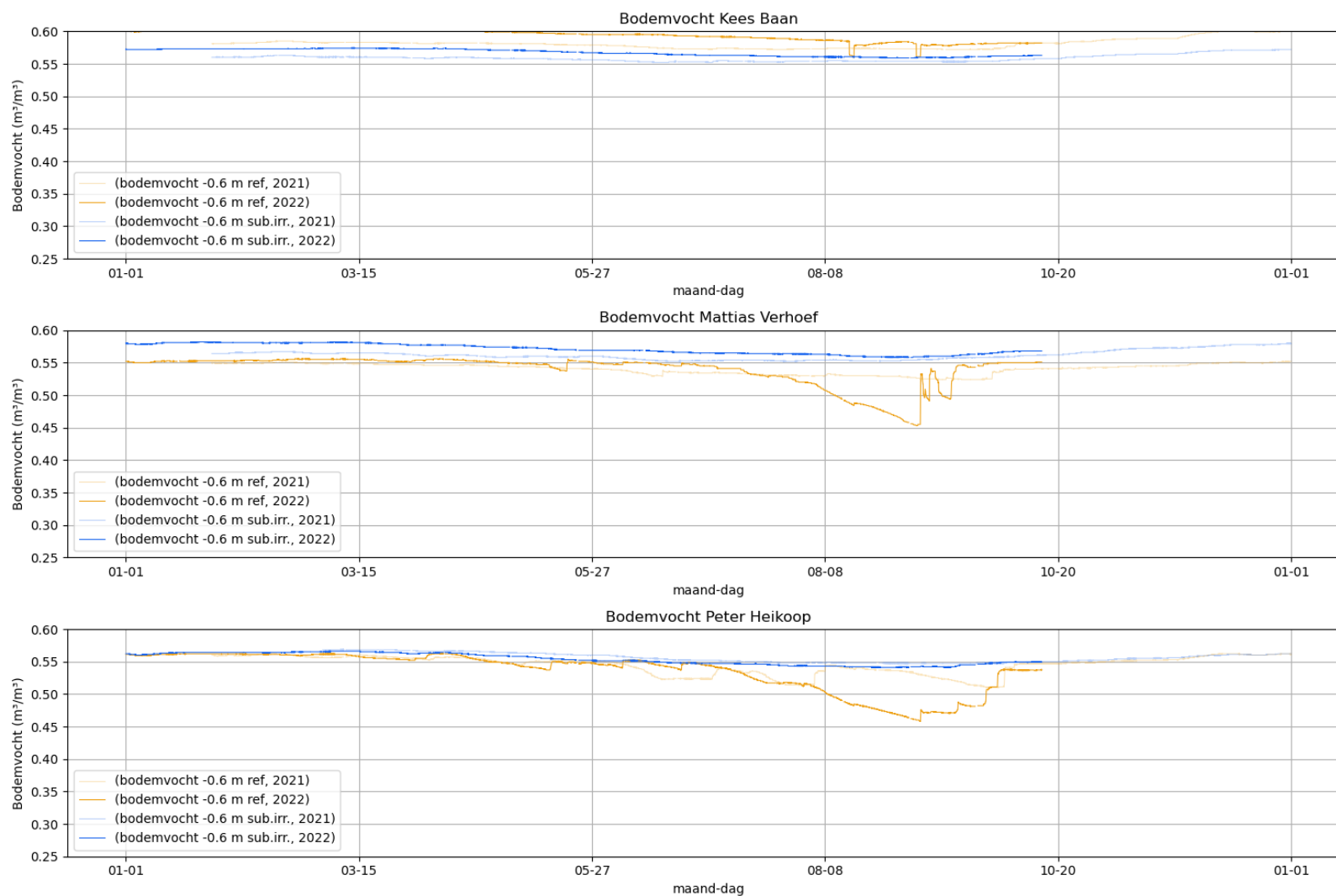
Bij Heikoop zien we op 0,6 m-m.v. dat de vochtgehalten tijdelijk lager (minus 5%) zijn in 2021 op het referentieperceel. Op 0,4 m-m.v. zien we op het proefperceel bij Heikoop in 2021 ook tijdelijk lagere waarden (minus 5%), een patroon dat we ook terugzien in de grondwaterstanden aldaar. Sturing en regeling van de waterstand in de pompput zijn hier de oorzaak van (zie Figuur 15, waterstand in drain, juli 2021).

De percelen bij Baan en Heikoop hebben alle een kleidek. De percelen bij Verhoef niet. Bij Heikoop is het kleidek het dikst, 30-40 cm. De overgang van kleidek naar veen is niet scherp bij Heikoop. Er bevindt zich veraard/verteerd veen direct onder het kleidek, waarna een overgang omlaag is naar het veenpakket.

In de proefpercelen blijven de vochtgehalten voor alle sensoren op peil. Dit komt door de vernatting. Als het bodemprofiel opdroogt vanaf maaiveld boven naar beneden, zoals bij het referentieperceel, door drogend weer en door de opname van water door het gras voor verdamping, dan kan het zijn dat de bodemvochtgehalten op 0,2 m-m.v. dalen, als de bodemcapillairen vocht van beneden niet goed/snel/volledig omhoog kunnen brengen naar de wortelzone van het gras. Dit kan het geval zijn in de overgangszone in het bodemprofiel.

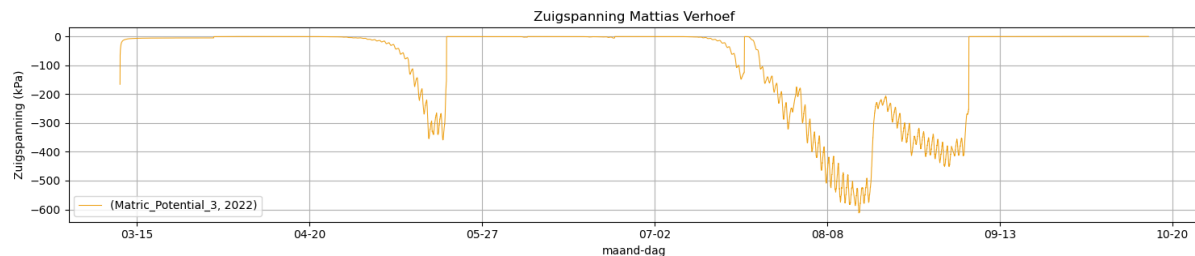






Figuur 22-1, 22-2 en 22-3. Gemeten bodemvochtgehalte [vol. %] in de tijd op drie dieptes (0,2, 0,4 en 0,6m) in het bodemprofiel op proefpercelen (sub.irr.; in blauw) en referentiepercelen (ref.; in oranje) in 2021 en 2022 bij Baan, Verhoef en Heikoop. Op de X-as staan de maanden-dagen van het jaar (03-15 staat voor 15 maart). Volledig natte moerige veenbodems (boven GLG) hebben een verzadigd bodemvochtgehalte van 50 à 60 vol. %.

Zoals eerder reeds gemeld (3.2.2) reageren plantenwortels qua wateropname op de onderdruk of zuigspanning van water in de bodem, waarbij naarmate de onderdruk hoger wordt (meer negatief), de plant meer moeite tot zelfs stress ervaart om water op te nemen om te kunnen verdampen. De tensiometer die we als test rond medio februari 2022 bij Verhoef geïnstalleerd hebben op een diepte van 15 cm-m.v., laat het volgende zien.



Figuur 23. Gemeten drukhoogte (onderdruk/zuigspanning: min-teken Y-as) van bodemvocht op een diepte van 15 cm-m.v. op het proefperceel van Verhoef. Installatie van Teros-21 sensor medio februari 2022. Gras begint last te krijgen van droogte bij een drukhoogte van -650 cm en lager.

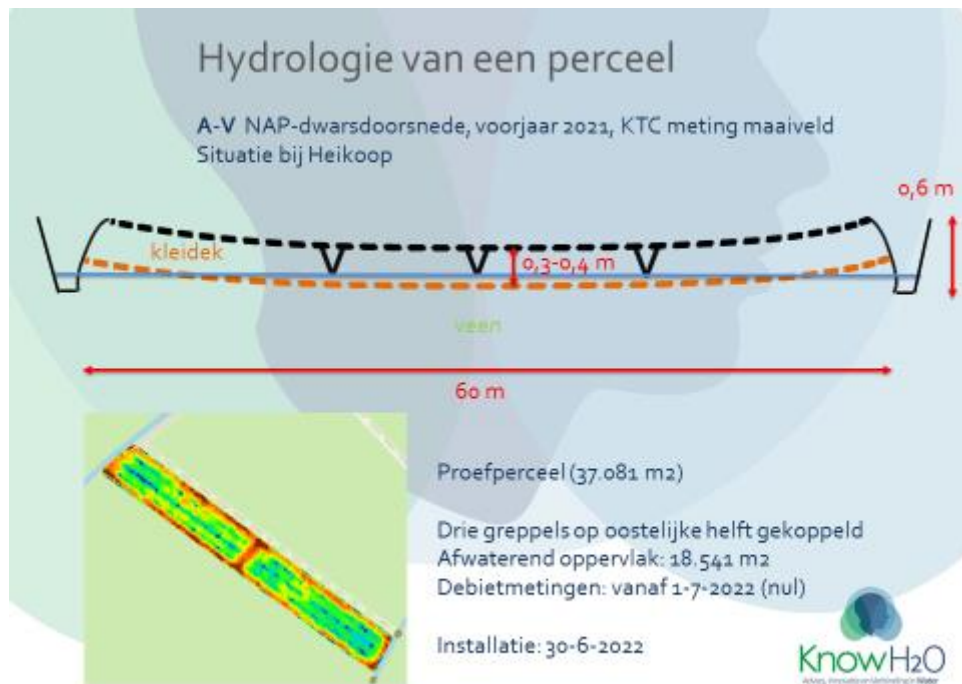
De drukhoogte van het bodemvocht op 15 cm-m.v. daalde in april 2022 naar -400 cm (bodemvochtgehalte daalde <5 vol.%) en in de loop van juni 2022 naar -600 cm tegen medio juli 2022. Deze laatste periode kan een stress-periode zijn geweest voor het gras vanwege droogte. Wellicht speelt hittestress (zonnestraling en luchttemperatuur) ook een rol (niet nader uitgewerkt hier). Deze metingen laten zien dat de drukhoogte een betere/sterkere indicatie geeft van eventuele droogtestress van het gras dan meting van het bodemvochtgehalte. Dit komt door de bodemfysische eigenschappen van (moerig) veen i.c. de pF-curve.

Samengevat zijn de resultaten inzake effecten op bodemvochtgehalte als volgt:

- De meeste metingen laten constant vochtige/natte omstandigheden zien op alle meetdiepten op alle proefpercelen in 2021 en 2022.
- In 2022 (een duidelijk droger jaar dan 2021) is dit niet het geval in een aantal perioden voor de referentiepercelen op alle meetdiepten, waar in meer (Verhoef, Heikoop) of mindere mate (Baan) duidelijk drogere condities gemeten zijn. De reden hiervoor is een hogere verdamping in 2022 van de bodem en het gras, die beide water onttrekken uit de bodem, in samenhang met de afwezigheid van subirrigatie op de referentiepercelen. Of de hogere verdamping ook leidt tot een hogere grasproductie bij Baan, gaan we zien aan de hand van de metingen door KTC Zegveld (paragraaf 4.7).
- Meting van de drukhoogte in de wortelzone geeft een goed beeld van eventuele droogtestress van het gras, naast de meting van het bodemvochtgehalte.

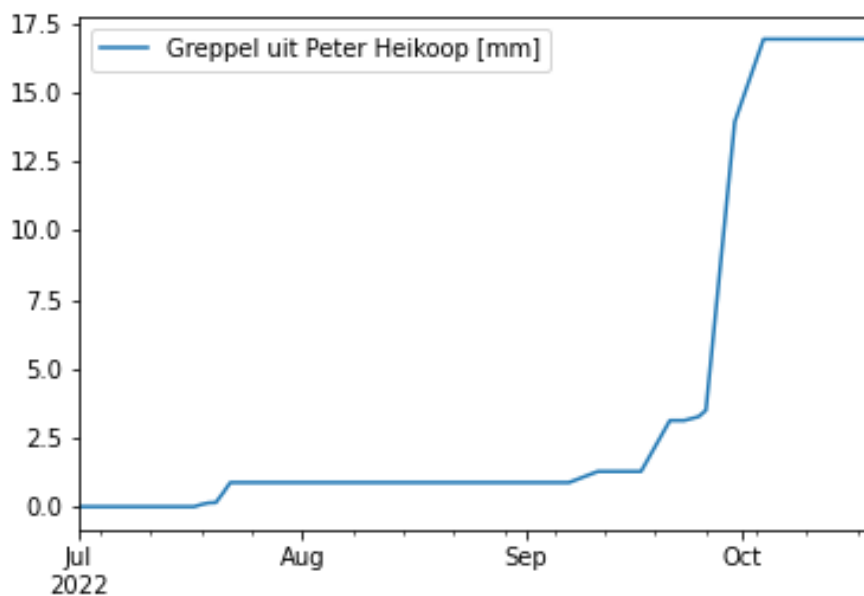
4.4 Gemeten waterafvoer via greppels

De greppels op holle percelen zorgen bij slootpeilen die lager zijn dan de bodem van de greppels voor de afvoer van neerslagoverschot bij hoge grondwaterstanden en afwatering bij maaiveldafvoer. Op alle holle proefpercelen zijn deze greppels aanwezig. Over de afvoer via greppels is deels kwantitatief bekend dat ze een belangrijk deel van de totale perceelafvoer op veen- en kleigronden kunnen verzorgen (o.a. Nijboer, 1986; Thunnissen, 1987; Van den Eertwegh en Van Beek, 2004; Van der Salm et al., 2006). Dat kan ook het geval zijn voor de afvoer van meststoffen via greppelwater naar de sloten.



Figuur 24. Proefperceel Heikoop met vorm dwarsdoorsnede maaiveld en greppels. Drie greppels op de oostelijke helft onderling verbonden met buizen en via debietmeter naar polderwater geleid aan kop oostzijde.

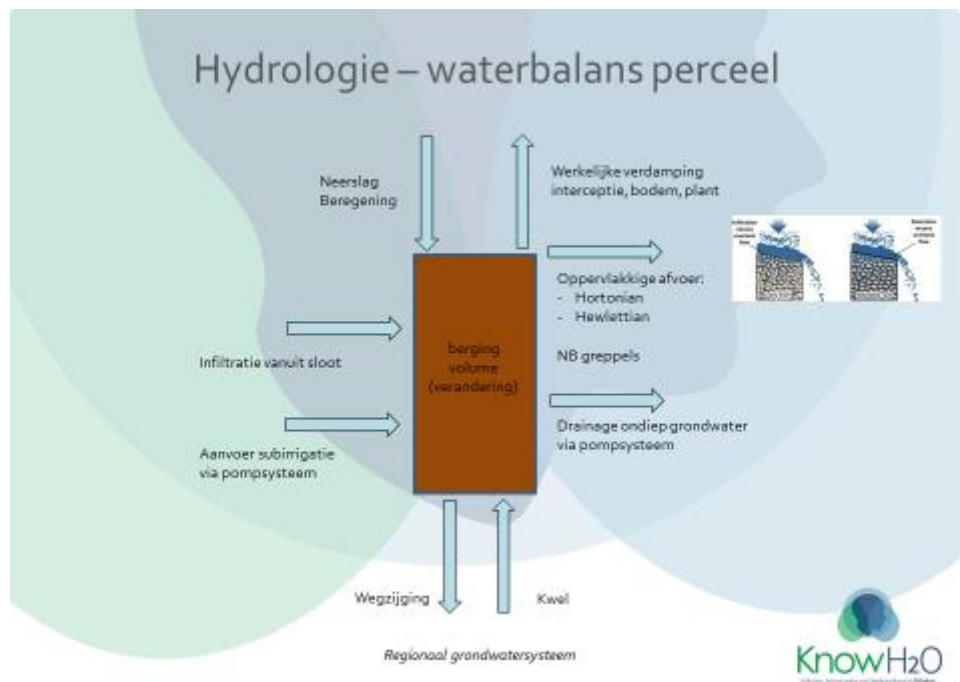
Omdat we tijdens de uitvoering van de proeven gemerkt hebben dat de rol van greppels inzake de ontwatering en afwatering van veenweidepercelen belemmert wordt door hoge(re) slootpeilen, hebben we op 30-6-2022 een debietmeter verbonden met drie greppels op het proefperceel bij Heikoop. De debietmeter watert af op het polderwater aan de oostzijde. Zo maken we afvoer via greppels mogelijk én meten we het debiet van de greppels continu. De meetreeks is te zien in Figuur 25. In de meetperiode tot en met medio oktober 2022 is ruim 17 mm water tot afvoer gekomen via de gekoppelde greppels (debiet in m³ omgerekend met oppervlakte in m²). Met name de neerslag in de laatste week van september 2022 (maandsom neerslag 131 mm) heeft tot greppelafvoer geleid (zie ook Figuur 14 en 15; grondwater Heikoop september 2022).



Figuur 25. Greppelafvoer [mm] bij oostelijke helft proefperceel Heikoop. Drie greppels op de oostelijke helft onderling verbonden met buizen en via debietmeter naar polderwater geleid aan kop oostzijde. Meetperiode startte op 1-7-2022.

4.5 Waterbalans perceel

De waterbalans op perceelschaal laat zien hoeveel water het er perceel in- en uitgaat en wat de herkomst van het water is (Figuur 26). De waterbalans kan opgesteld worden voor verschillende tijdperiodes, typisch per dag, maand, seizoen of (hydrologisch) jaar.



Figuur 26. Schematische weergave van waterbalans perceel (massabalans - m_3). In- en uitgaande waterstromen aan alle zijden van het perceel (3D bodemkolom).

Binnen dit project bemeten en weten we een deel van de waterstromen als balanst termen van de (proef)percelen (Tabel 2). Te noemen zijn neerslag (KNMI), een schatting van de werkelijke verdamping van gras (ETref MAK; KNMI), pompdebiet IN (subirrigatie), pompdebiet UIT (drainage), greppelafvoer (sinds 30-6-2022), verandering waterberging in bodem (via gemeten grondwaterstanden en bodemvochtgehalten). We kennen de kwel-wegzijing niet, evenmin de directe afvoer van water naar de sloot (geringe post, door hoog slootpeil), de directe infiltratie van sloot naar het perceel (vergroot door hoog slootpeil, maar verkleind door hoge grondwaterstanden op proefperceel), de werkelijke verdamping van bodem en gras en de verdamping van water dat eventueel na een bui op de grassprietten aanwezig is (interceptiewater). Er heeft geen berekening plaatsgevonden, noch greppelinfiltratie.

Tabel 2. Oppervlakte [m²] van proefpercelen Baan, Verhoef en Heikoop. Data: Boer en Bunder.

Agrariër	Oppervlakte Proefperceel [m ²]
Baan	29.524
Verhoef	26.184
Heikoop	37.081

In Tabel 3 staan de bemeten balanst termen gesommeerd voor verschillende perioden binnen het tijdvak januari 2021 tot en met september 2022.

NB: de gemeten debieten IN en (met name) UIT zijn deels indicatief, omdat de bediening van de systemen niet altijd tot volledige metingen heeft geleid. Zo is onder natte omstandigheden water mogelijk uit de systemen gelopen via de uitlooppijp, zonder gebruik te maken van de pomp. Daardoor is met name het gemeten debiet UIT minder volledig.

De verdamping (ETref MAK) is vrijwel identiek bij alle proefpercelen. Deze varieert niet sterk in de ruimte binnen de regio, wel in de tijd. In de periode maart-september 2022 is deze ongeveer 85 mm hoger (+15%) dan in dezelfde periode in 2021.

De neerslag varieert sterker in ruimte en tijd. In maart, april, mei, juli en augustus 2022 was het relatief erg droog, in combinatie met een hoge verdampingsvraag vanuit de atmosfeer. Dat zagen we terug in grondwaterstanden en bodemvochtgehalten op de referentiepercelen, die in 2022 duidelijk lager waren dan in 2021.

We zien het effect van droge maanden in 2022 ook terug in pompdebieten IN (Tabel 3). In de periode maart-september 2022 is er een factor twee meer ingepompt bij Heikoop en Verhoef, bij Baan meer dan dertig keer meer water dan in dezelfde periode in 2021. Er is een duidelijk hoger pompdebiet IN (i.c. de watervraag) van de proefpercelen bij droog weer, met als positief en beoogd effect hogere bodemvochtgehalten en hogere grondwaterstanden.

Tabel 3. Termen waterbalans [mm] van proefpercelen Baan, Verhoef en Heikoop voor verschillende perioden in de tijd.

Periode	Neerslag [mm]	Pomp drain in Kees Baan debiet [mm]	Evapotranspiratie [mm]	Pomp drain uit Kees Baan debiet [mm]	Verandering berging [mm]	Balans [mm]
jan 2021 t/m sep 2022	1472	244	-1242	-50	3	422
mrt 2021 t/m feb 2022	896	72	-601	-31	-13	349
apr 2021 t/m mrt 2022	871	86	-615	-38	-24	328
mrt 2021 t/m sep 2021	428	5	-526	-13	-7	-99
mrt 2022 t/m sep 2022	427	172	-610	-19	-1	-29

Periode	Neerslag [mm]	Pomp drain in Mattias Verhoef debiet [mm]	Evapotranspiratie [mm]		Verandering berging [mm]	Balans [mm]
jan 2021 t/m sep 2022	1425	332	-1241		3	514
mrt 2021 t/m feb 2022	866	120	-600		-13	398
apr 2021 t/m mrt 2022	839	179	-615		-24	428
mrt 2021 t/m sep 2021	401	108	-525		-7	-10
mrt 2022 t/m sep 2022	416	212	-610		-1	20

Periode	Neerslag [mm]	Pomp drain in Peter Heikoop debiet [mm]	Evapotranspiratie [mm]	Pomp drain uit Peter Heikoop debiet [mm]	Verandering berging [mm]	Balans [mm]
jan 2021 t/m sep 2022	1426	268	-1235	-185	3	272
mrt 2021 t/m feb 2022	893	90	-597	-185	-13	214
apr 2021 t/m mrt 2022	863	96	-612	-185	-24	186
mrt 2021 t/m sep 2021	441	90	-523	-47	-7	-32
mrt 2022 t/m sep 2022	387	179	-607	-0	-1	-40

De afvoer van water kan bij Baan en Heikoop worden gestuurd via de pompdebieten UIT. Verhoef heeft geen pomp UIT.

Bij Verhoef is in de groeiseizoenen (maart tot en met september) van 2021 en 2022 de som van neerslag en pompdebiet IN vrijwel gelijk aan de ETref MAK. Bij Baan is dit ook het geval in 2022, bij Heikoop in 2021. In het drogere groeiseizoen 2022 varieerde het netto pompdebiet IN tussen de drie proefpercelen van 153 tot 212 mm.

Balans bij Baan

De natte maanden juli, oktober 2021 en september 2022 hebben geleid tot afgepompte drainagedebieten bij Baan. In het groeiseizoen van 2021 (maart tot en met september) was het pompdebiet IN 5 mm en het pompdebiet UIT 13 mm. In 2022 waren deze cijfers IN 172 mm en UIT 19 mm.

De balans bij Baan voor de gehele periode (638 dagen) laat een overschot zien van in totaal 422 mm, dit betekent dat er niet-bemeten afvoer van water moet zijn in het veld. De opties zijn:

- Fouten in bestaande balanstermen
- Afvoer direct naar de kavelsloten
- Verdamping van interceptiewater
- Wegzijging naar grondwater

De getoonde balanstermen bij Baan in Tabel 3 kunnen fouten bevatten, met name pompdebiet UIT. Deze term is niet zo groot en zou groter kunnen zijn, maar niet voldoende groter om de balans te sluiten. De directe afvoer van perceelwater naar de omringende kavelsloten kan plaatsvinden via de greppels en via stroming van grondwater. Aangezien de omringende slootpeilen verhoogd zijn als onderdeel van de proef, lijkt het minder waarschijnlijk dat er water afgevoerd is. In de praktijk echter zijn er met name in 2021 periodes geweest, dat het slootpeil rondom het proefperceel lager was dan gepland. Er is in die tijden waarschijnlijk ook greppelafvoer geweest, met name in mei en juli 2021. Er zal dus in 2021 niet-bemeten afvoer zijn geweest naar de sloten, al dan niet via greppels. In 2022 is dit niet waarschijnlijk door de hogere slootpeilen. De verdamping van interceptiewater na neerslag kan een deel van de verklaring zijn. Als er 10% van de neerslagsom direct verdampt vanaf

de grassprietten na neerslag, dan staat dat gelijk aan een extra verdamping van 147 mm. Een volgende verklarende term voor het overschot op de balans is de wegzijging naar het grondwater, die bij proefperceel Baan optreedt en gevoed/versterkt wordt door de proef. Een geschatte wegzijging van 0,5 mm/dag levert in een periode van 638 dagen een niet-bemeten grondwater-afvoer op van 320 mm.

Balans bij Verhoef

Bij Verhoef is er geen pompdebiet UIT. De balans voor de hele periode laat een overschot zien van 514 mm. Er is lokaal sprake van kwel. Deze kwelstroom levert een extra toevoer van water op naar het perceel. Deze extra toevoer moet worden opgeteld bij het balansoverschot, dat daardoor groter wordt. De proef met subirrigatie heeft wel een verkleining van de kwelintensiteit tot gevolg (Figuur 16). Op basis van metingen in 2021 lijkt het waarschijnlijk dat de kwelstroom nagenoeg nul is. Als we hiervan uitgaan, dan hebben we de volgende opties om het balansoverschot te verkleinen:

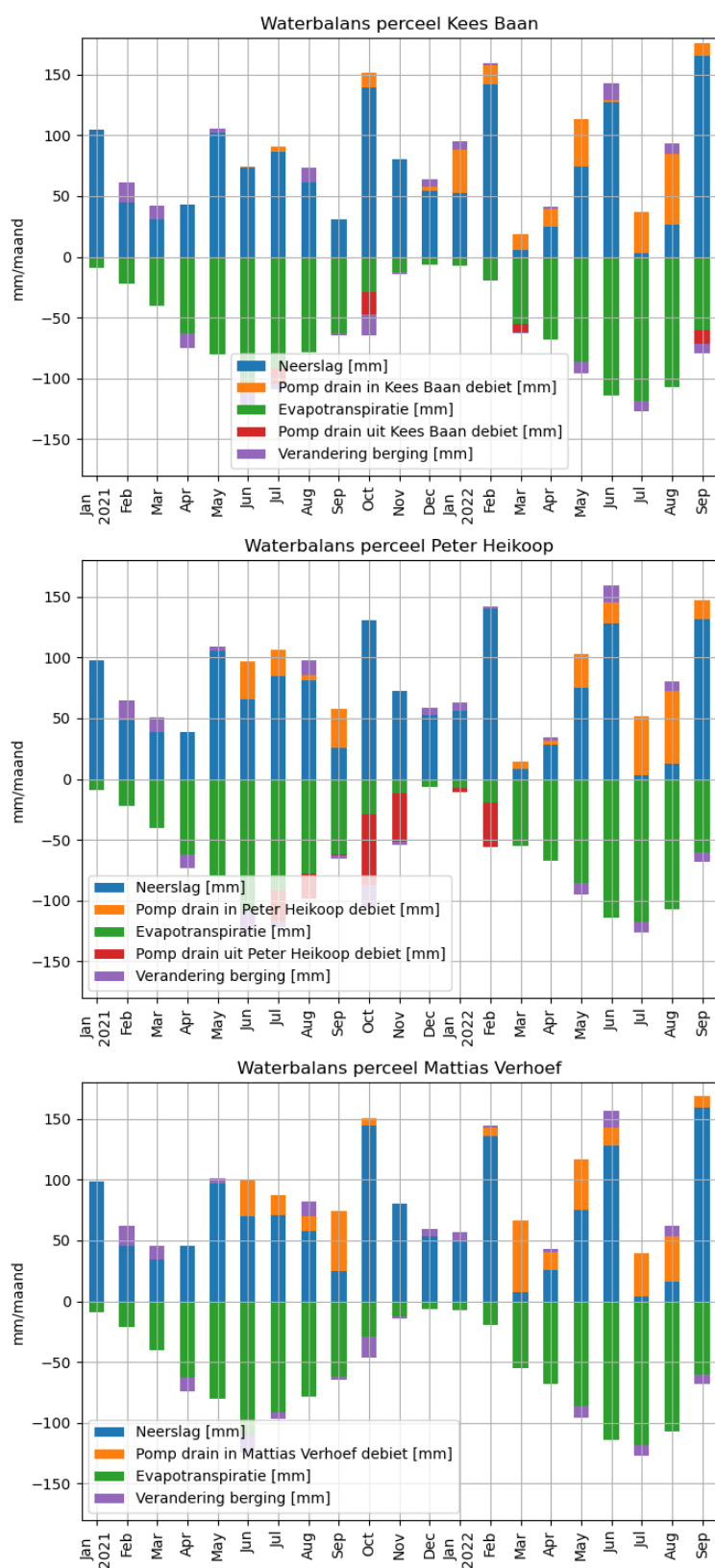
- Fouten in bestaande balanstermen
- Afvoer direct naar de kavelsloten
- Verdamping van interceptiewater

Fouten in de getoonde balanstermen zijn naar verwachting niet zo groot, dat deze de balans kunnen maken. De afvoer direct naar de kavelsloten kan met name plaatsgevonden hebben in de periode mei tot en met augustus 2021 en 2022. In die periode, met hogere grondwaterstanden op het proefperceel, zijn de slootpeilen niet veel hoger geweest dan de polderpeilen, ook wel eens lager. De verdamping van interceptiewater na neerslag kan een deel van de verklaring zijn. Als er 10% van de neerslagsom direct verdampt vanaf de grassprietten na neerslag, dan staat dat gelijk aan een extra verdamping van 143 mm.

Balans bij Heikoop

Bij Heikoop is de pomp UIT veelal gebruikt in de periode juli 2021 tot en met februari 2022. In het groeiseizoen (maart tot en met september) van 2021 was het pompdebiet IN 90 mm en het pompdebiet UIT 47 mm. In 2022 waren deze cijfers IN 179 mm en UIT nul mm. De balans voor de gehele periode laat een overschot zien van 272 mm. Er is dus sprake van een niet-bemeten afvoer in de veldsituatie. Er is bij Heikoop lokaal sprake van kwel. Deze kwelstroom levert een extra toevoer van water op naar het perceel, net als bij Verhoef. Deze extra toevoer moet worden opgeteld bij het balansoverschot, dat daardoor groter wordt. De proef met subirrigatie heeft wel een verkleining van de kwelintensiteit tot gevolg (Figuur X). Op basis van metingen in 2021 lijkt het waarschijnlijk dat de kwelstroom niet nul is. Met een geschatte kwelintensiteit van 0,25 mm/dag komen we uit op 160 mm extra aanvoer. Daarmee wordt het balansoverschot 432 mm. Interceptieverdamping (10% van neerslag) levert een afvoerterm van 143 mm op. Dan resteert bijna 300 mm aan niet-bemeten afvoer. Een mogelijke verdubbeling van het volume aan pompdebiet UIT, via in het veld opgetreden greppelafvoer (met name) en directe afvoer naar de kavelsloten (in mindere mate) in perioden van lagere slootpeilen in de maanden januari tot en met maart 2021 en 2022 is denkbaar. Daarmee wordt het balansoverschot ruim 100 mm. Een kleinere kwelterm (hierboven geschat) van 0,1 mm/dag zou dan de balans ongeveer kunnen sluiten.

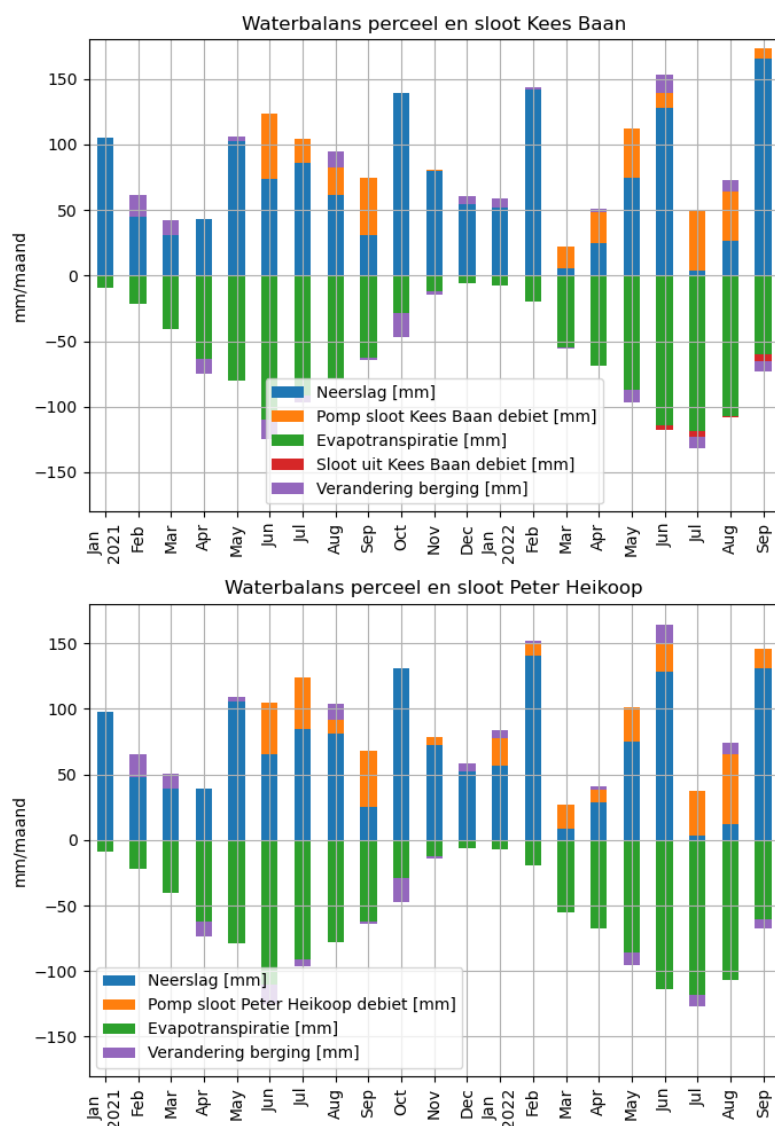
Figuur 27 toont de bemeten termen van de waterbalans per maand van proefpercelen bij Baan, Heikoop en Verhoef in het tijdvak januari 2021 t/m september 2022. Duidelijk te zien zijn de variaties van maand tot maand.



Figuur 27. Termen waterbalans per maand [mm/maand] van proefpercelen Baan, Heikoop en Verhoef in de tijd van januari 2021 t/m september 2022.

4.6 Waterbalans sloot

De instromende debieten bij de sloten bij Baan en Heikoop worden bemeten, bij Verhoef niet. Daarom kunnen we voor Baan en Heikoop voor het water-bodem-systeem van het proefperceel een indicatieve waterbalans opstellen voor het gecombineerde 'systeem' kavelsloot met proefperceel.



Figuur 28. Termen waterbalans per maand [mm/maand] van sloot Baan en Heikoop in de tijd van januari 2021 t/m september 2022.

Figuur 28 laat de maandgegevens zien. De balansen zijn indicatief omdat de gegevens van debiet sloot UIT alleen voor Baan beschikbaar zijn vanaf juni 2022, omdat de afvoer naar het polderwater ook wel eens gebeurde tijdens hoogwater terwijl dat voor de metingen en analyse niet de bedoeling was en omdat we kwel/wegzijging naar en van de sloten niet kwantitatief kennen.

De term pomp sloot IN is voor beide balansen de bron van water voor pomp drain IN (Figuur 27). Aanvoerwater uit de polder gaat via de sloot de systemen in, indien daar de pomp IN aan staat. De pomp sloot IN zorgt ook voor instandhouding van het hogere slootpeil, mocht dat dreigen onderuit te zakken.

Globaal gezien zijn de neerslag en verdamping de grootste balansposten, waarbij wateraanvoer het eventuele tekort aan neerslag aanvult. Een andere aanvulling van een mogelijk neerslagtekort is het niet uitpompen van water op het moment dat het regent of net heeft geregend, waardoor dit water leidt tot hogere grondwaterstanden en hogere slootpeilen. Nu was het in de praktijk zo dat er toch bij tijd en wijlen water, met name in natte tijden in 2021, via de sloot is afgevoerd naar de polder, een hoeveelheid die niet gemeten is. Dat maakt een harde (...) en meer uitgebreide analyse van deze balansen op dit moment speculatief qua uitkomst. We gaan in een volgende en waarschijnlijk laatste ronde van meten, analyse en duiding nog een goede poging wagen.

4.7 Gewastranspiratie en droge-stof opbrengst gras bij Baan

In paragraaf 4.1 is geschetst dat de werkelijke transpiratie van grasland [mm] samenhangt met de opbrengst aan droge-stof [kg/ha]. In de maanden maart t/m september 2021 was de ETref MAK lager dan in dezelfde periode van 2022. Deze verdamping is getalsmatig niet gelijk aan de werkelijke transpiratie van grasland, deze laatste is lager (zie o.a. Van den Eertwegh en De Bruin, 2017; Voortman et al., 2022, in voorbereiding), na aftrek van bodemverdamping en eventuele stress van het gewas (te nat - zuurstofstress, te droog - vochtstress, te heet - hittestress).

De ETref MAK verdamping was in 2021 lager dan in 2022 door de weersomstandigheden. In 2022 kan stress opgetreden zijn (te droog, te heet). De proefpercelen, zo ook dat van Baan, zijn in 2022 natter gehouden en geweest vergeleken met de referentiepercelen. De overall-hypothese is dan ook dat a) naar verwachting de werkelijke verdamping van gras in 2021 lager is dan in 2022 (referentieperceel en proefperceel) en b) de werkelijke verdamping in 2022 op het proefperceel hoger is geweest op het proefperceel dan op het referentieperceel, omdat het proefperceel vochtiger was in de wortelzone. De werkelijke transpiratie heeft een directe, vaak lineaire relatie met de droge-stof opbrengst (Tabel 4).

Tabel 4. Droge-stof opbrengst gras [kg/ha] bij Baan in 2021 en 2022. Data: KTC Zegveld. Data ETref MAK [mm]: KNMI. Drie van de vier snedes gemaaid en bemeten in 2021 (NB snede vier is gemist), vijf snedes gemaaid en bemeten in 2022. Methode volgens uitgemaaide stroken gras.

Seizoen	Droge-stof opbrengst [kg/ha]			ETref MAK (mrt-sep) [mm]	Opmerking
	referentie	proef	% t.o.v. referentie		
2021	8.700*	8.964*	+3%	526	Snede vier van in totaal vier snedes is niet gemaaid en bemeten
2022	9.899	9.953	+0%	610 (+16%)	Vijf snedes gemaaid en bemeten

**gecorrigeerde opbrengst*

In 2021 is de vierde snede gemist tijdens de werkzaamheden. De opbrengst van deze snede moet nog bij de getoonde opbrengst opgeteld worden voor een volledige seizoenopbrengst. De getallen voor 2021 in Tabel 4 laten zien dat de productie op het proefperceel een paar % hoger is. Omdat de vierde snede ontbreekt kan geen totaalverschil worden berekend.

In 2022 is de opbrengst op beide percelen hoger dan in 2021, zoals we verwachtten. Niet zoveel hoger echter als dat de ETref MAK cijfers hoger zijn in 2022. In 2022 zijn de opbrengsten van beide percelen vergelijkbaar. Het nattere proefperceel heeft in de drogere en hetere zomer van 2022

(vergeleken met 2021) niet geleid tot gunstigere groei-condities voor het gras bij Baan. De verklaringen hiervoor staan ter discussie:

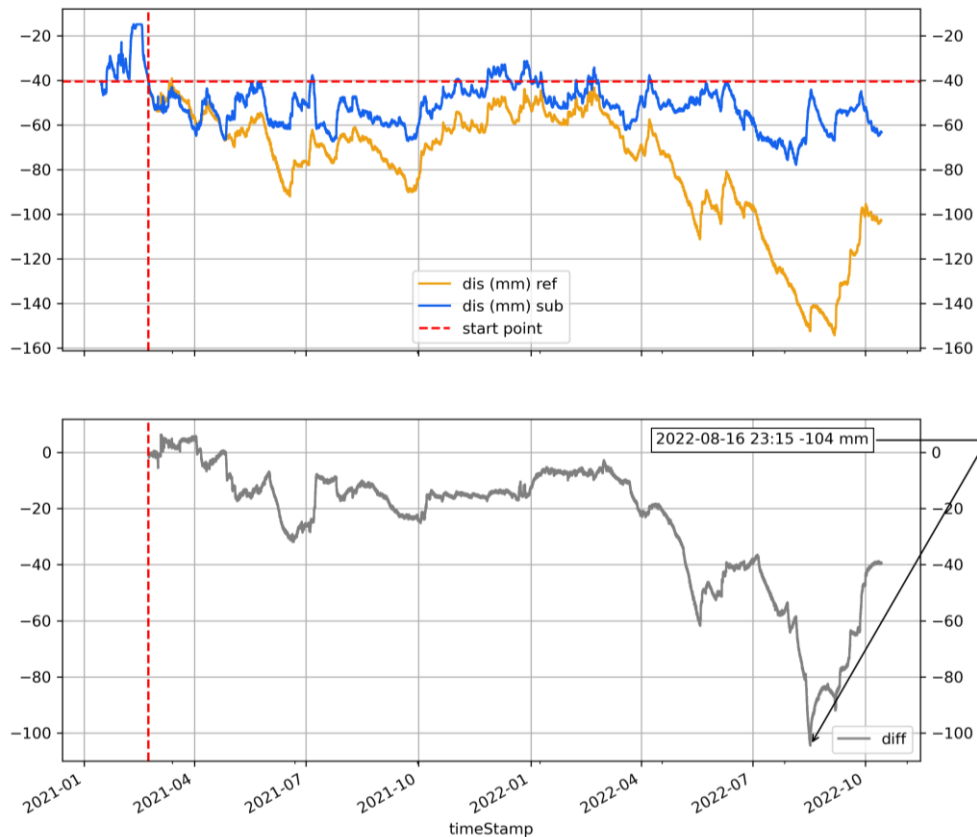
- het gras op het referentieperceel heeft geen last gehad van droogtestress, ondanks de lagere bodemvochtgehalten;
- het gras op het proefperceel heeft last gehad van zuurstofstress, door de hogere bodemvochtgehalten;
- de hittestress van het gras is wellicht gelijk geweest op beide percelen, hoewel de atmosfeer van het proefperceel aan maaiveld koeler kan zijn geweest door de nattere omstandigheden in de ondiepe bodem;
- door de vernatting is er op het proefperceel minder organische-stof gemineraliseerd, hetgeen leidde tot minder beschikbare nutriënten voor het gras.

Wanneer we per snede gaan kijken in 2021 dan zien we weinig verschil tussen de percelen in de opbrengsten van snede 1 en 2, maar we zien 13% meer opbrengst in snede 3 voor het proefperceel (gegroeid in periode 30-6-2021 tot 2-8-2021). Wanneer we per snede gaan kijken in 2022 dan zien we vaker verschil tussen de percelen in de opbrengsten. Snede 1 en 2 zijn vrijwel identiek. Snede 3 (gegroeid in periode 3-6-2022 tot 3-7-2022) is voor het proefperceel 15% lager, snede 4 (gegroeid in periode 5-7-2022 tot 11-8-2022) is 13% hoger en snede 5 (gegroeid in periode 13-8-2022 tot 21-9-2022) is 24% hoger op het proefperceel. Naarmate we later in het groeiseizoen komen, zijn de opbrengsten per snede op het proefperceel groter. Deze snedes echter zijn qua gewicht afnemend in de tijd. Nader onderzoek naar verklaringen hiervoor kan nuttig zijn. Punt blijft echter dat per seizoen als geheel er geringe verschillen in droge-stof opbrengst zijn.

4.8 Effect regelbare drainage met subirrigatie op verticale bodembeweging

De VSM-sensoren die elk kwartier de maaiveldhoogte meten staan op het proefperceel (met subirrigatie en hogere slootpeilen; West 2) en op het referentieperceel (reguliere situatie met polderpeil West 3) bij Baan in Molenaarsgraaf. De sensoren zijn geplaatst op 14 en 15 december 2020 i.s.m. Avallo Advies en Moisture Matters. In Van Deijl et al. (2022) is informatie over de VSM-sensor terug te vinden. De bodemprofielen op beide percelen staan in Figuur 2. De fundering-pin in het proefperceel (West 2) is in het zand gedrukt, tot voorbij een diepte van 10 m-m.v. (einde boorprofiel). De fundering-pin in het referentieperceel (West 3) is ook in het zand gedrukt (zand begint op 9 m-m.v.).

Figuur 29 toont de veldmetingen van de bodembeweging aan maaiveld. De bovenste grafiek laat de gemeten hoogte zien vanaf het moment van de eerste waterpassing van de fundatie-pin op 22-2-2021. De metingen in Figuur 29 lopen tot medio oktober 2022: in blauw de maaiveldhoogte van het proefperceel (code West 2), in oranje die van het referentieperceel (code West 3). De onderste grafiek laat in grijs zien het verschil in de maaiveldhoogte tussen proefperceel en referentieperceel. Een negatieve waarde betekent dat de maaiveldhoogte van het referentieperceel lager is dan die van het proefperceel.



Figuur 29. Gemeten bodembeweging met twee VSM-sensoren bij Baan te Molenaarsgraaf. De bovenste grafiek laat de gemeten beweging van de maaiveldhoogte zien vanaf 22 februari 2021 tot en met medio oktober 2022. Blauw: maaiveldhoogte van het proefperceel (West 2), in oranje die van het referentieperceel (West 3). De onderste grafiek in grijs toont het verschil in maaiveldhoogte tussen proefperceel en referentieperceel. Een negatieve waarde (Y-as links en rechts) betekent dat de maaiveldhoogte van het referentieperceel lager is dan die van het proefperceel.

De variatie van de maaiveldhoogte in de tijd vanaf februari 2021 tot medio oktober 2022 is kleiner bij het proefperceel; de dynamiek in de beweging is groter op het referentieperceel. Het verschil in maaiveldhoogte tussen het proefperceel en het referentieperceel laat zien dat de maaiveldhoogte van het referentieperceel meer/sterker afneemt in de tijd dan die van het proefperceel.

Na het eerste meetjaar vanaf 22 februari 2021 zien we rond februari 2022 een verschil van 2-3 mm in maaiveldhoogte tussen de beide percelen. Aan de hand van de weersomstandigheden en op basis van de metingen van dit jaar kunnen we constateren dat het referentieperceel in de maanden mei-juni en augustus 2021 lagere freatische grondwaterstanden liet zien dan het proefperceel. De gemeten bodemvochtgehalten op proef- en referentieperceel zijn in de periode februari 2021 tot en met februari 2022 weinig verschillend. Kortom, de bodemprofielen zijn beide aan de vochtige kant gebleven in dit jaar. De maaiveldhoogte op het referentieperceel zakte ongeveer 30 mm verder naar beneden dan het proefperceel, maar kwam na een jaar vrijwel geheel terug omhoog naar het niveau van februari 2021.

In de periode van maart 2022 tot en met medio oktober 2022 zien we meer dynamiek en grotere verschillen tussen de maaiveldhoogte-metingen op beide percelen. De verticale beweging op het proefperceel bedraagt maximaal bijna 40 mm, op het referentieperceel bijna 120 mm. De

maaiveldhoogte van het referentieperceel zakt ruim 100 mm dieper, de stand van medio augustus 2022. Na de neerslag van september 2022 komt het maaiveld op het referentieperceel weer omhoog tot begin oktober 2022, met daarna een vlak verloop tot lichte daling.

We zien in de metingen van bodemvocht en grondwaterstand duidelijk nattere condities op het proefperceel in het groeiseizoen van 2022. De referentiegewas-verdamping van maart t/m september 2022 was 610 mm, tegen 526 mm in dezelfde periode in 2021 (periodesom neerslag was vergelijkbaar). De proef blijkt dus verschil te maken in het vochtprofiel van de klei-op-veenbodem en in de bodembeweging.

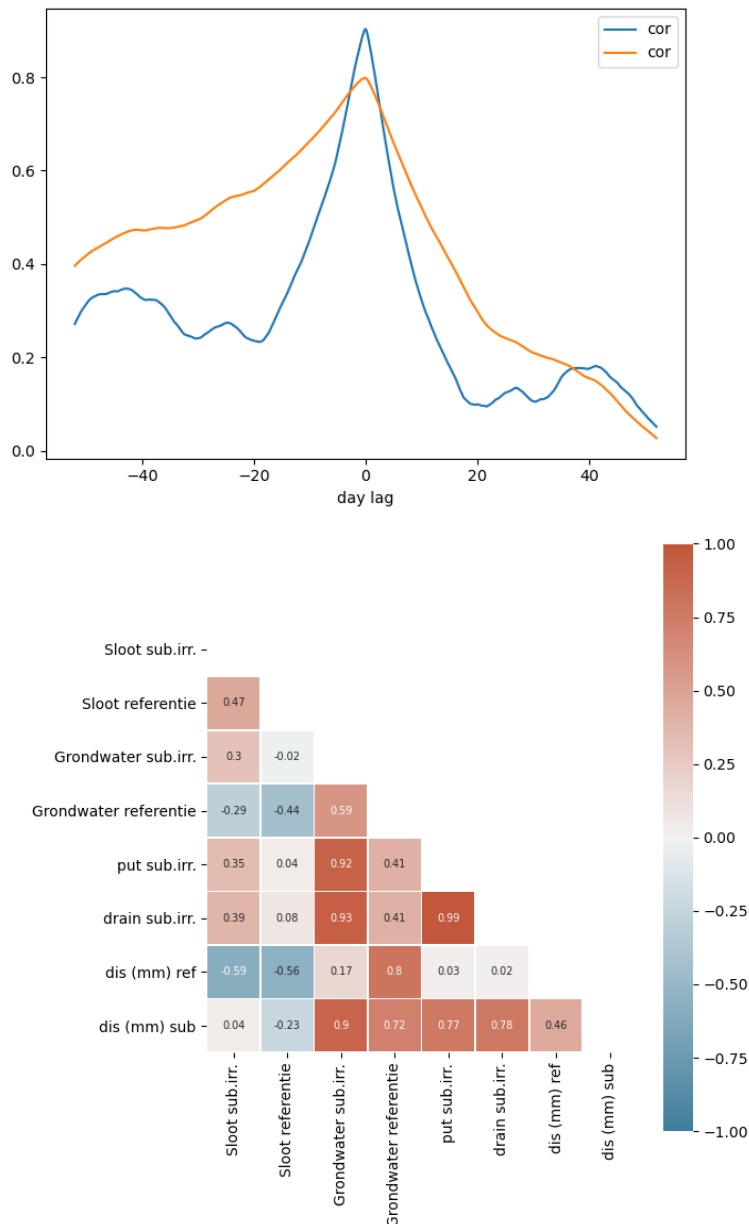
Ter controle van de VSM-meetopstelling zijn waterpassingen uitgevoerd van de hoogte van de fundering-pin op 22-2-2021 en op 16-9-2022. De uitgevoerde RTK-metingen (X,Y,Z bepaling van meetpunten aan de hand van satelliet-data) bleken niet nauwkeurig genoeg te zijn voor deze controle. De VSM-sensor schuift om de fundering-pin heen, de verticale positie van deze pin (NAP) bepaalt de absolute hoogte van het maaiveld ter plekke. In Tabel 5 staan de waterpassingen.

Tabel 5. Waterpassingen van de NAP-hoogte van de stalen fundering-pin in het zand onder deklaag, ter controle van de verticale positie van de VSM-sensor. Data: Avallo Advies BV.

Pin	Perceel bij Baan	NAP-hoogte op datum 22-2-2021 [m t.o.v. NAP]	NAP-hoogte op datum 16-9-2022 [m t.o.v. NAP]	Vershil [mm]	Opmerking
West 2	Proef met subirrigatie	-0,5649	-0,5883	-23,4	Daling pin
West 3	Referentie	-0,5838	-0,6113	-27,5	Daling pin

Uit Tabel 5 blijkt dat beide pinnen gedaald zijn in de tijd, waarbij de pin op het referentieperceel 4,1 mm meer daalde dan de pin op het proefperceel. De fundering van de pinnen is dus niet absoluut, er zit beweging in de zand-ondergrond onder de klei-op-veen deklaag (netto daling). Voor de bepaling van de absolute maaiveldhoogte bij de twee VSM-sensoren betekent de waterpassing dat het maaiveld op beide plekken zakt tussen 22-2-2021 en 16-9-2022, alleen al ten gevolge van de daling van de zandondergrond. Daarbij moet de eventuele daling zoals gemeten met de VSM-sensoren worden opgeteld.

We willen in februari 2023 en oktober 2023 de waterpassing gaan herhalen ter verdere controle van de metingen van de bodembeweging.



Figuur 30. Bodembeweging: berekende correlatiecoëfficiënten tussen gemeten variabelen in het veld. DIS staat voor gemeten bodembeweging.

In Figuur 30 is te zien dat de gemeten bodembeweging voor beide percelen het meest sterk verband houdt met de ter plekke gemeten grondwaterstand bij de VSM-sensoren. Voor het proefperceel staan deze grondwaterstanden in nauw verband met de waterdruk in de drain en in de put. De slootpeilen hebben een zwak verband met de bodembeweging op het referentieperceel, omdat slootpeilen beperkt hydrologisch in staat zijn om de grondwaterstanden te beïnvloeden. Een systeem van regelbare drainage met subirrigatie is beter (tot goed) in staat om grondwaterstanden op percelen te sturen.

5 Conclusies

Op basis van de tussentijdse resultaten tot medio oktober 2022 zijn onze conclusies als volgt.

Werking van systemen en monitoring

- De aangelegde systemen van regelbare drainage en pompsystemen werken naar behoren, incl. de aangepaste vlotters. Nieuwe vlotters zorgen voor een meer constant en hoger (hoog)waterpeil in 2022 dan in 2021 in periodes zonder neerslag. Doelbereik behaald.
- Eventuele terugloop en lekkage bij/rond dammen in kavelsloten is verholpen, behalve bij Verhoef.
- De monitoring werkt veelal prima. Uitval van sensoren is opgetreden vanwege fabrieksfouten, die niet meteen opvielen omdat metingen doorliepen, maar foutieve waarden opleverden; momenteel is alles op orde.
- De vele waarnemingen via inzet van de meetapparatuur zijn waardevol en onderling consistent.
- We moeten voorzichtig zijn en blijven met perceelmanagement nabij de meetopstellingen. PV-installaties vrijhouden van schaduw door planten e.d.
- Bediening systemen en inzet greppels tijdens met name bij hoogwater blijft punt van aandacht.
- De aansturing op de gewenste niveaus van het freatische grondwater was beter in periode eind 2021/2022, er is vrijwel goed gestuurd op hogere grondwaterstanden tot net onder het kleidek.
- Technische aanpassingen zijn lopende het traject steeds nodig, maar minder naarmate de tijd vordert en problemen zijn opgelost.
- Het gebruik van de ZentraCloud app (daarmee volgen we de hydrologie van de percelen en de sloten online/actueel) heeft geholpen qua sturing en begrip van de werking van de systemen. Dit bevordert de betrokkenheid van de agrariërs op de pilot en van de andere betrokkenen.
- Regelbare drainage met subirrigatie vraagt aandacht, zorg, beheer en onderhoud. De effecten ervan vallen of staan met de bediening van de systemen. Monitoring van bediening én van de effecten daarvan zijn daarom beide nodig.
- Aandachtspunt bij de aanleg van drainagebuizen en verzamelleidingen is nodig, teneinde hobbels in het maaiveld te voorkomen. De werkomstandigheden (nat, droog, ...), de werksnelheid en de machinisten zijn belangrijk.
- De nieuwe vlotters en de ervaring van de boeren zorgen ervoor, dat er in 2022 gewerkt is een stabiel en vrijwel gewenst grondwaterniveau.

Effecten op hydrologie

- Slootpeilen in de proeven zijn duidelijk verhoogd ten opzichte van de polderpeilen.
- De bediening van de systemen heeft een duidelijke invloed op de freatische grondwaterstanden; deze zijn hoger bij subirrigatie en lager wanneer er water wordt afgevoerd via de pomp in de regelput; de invloed is minder goed zichtbaar en minder groot in de gemeten bodemvochtgehalten, maar we zien wel een signaal in 2021. In het drogere jaar 2022 zijn de positieve effecten van de inzet van de systemen duidelijk groter.

- Handwaarnemingen aan grondwaterstanden en slootpeilen zijn uitgebreid. Ter discussie of we nog verder moeten intensiveren.
- De subirrigatie zorgt door de ondergrondse toediening van water voor een minder grote, dan wel geen daling tot zelfs een stijging van de grondwaterstand in tijden van een neerslagtekort. Daarmee leidt de subirrigatie tot doelbereik t.a.v. vernatting van de (klei-op) veen-bodems.
- De wateraanvoer naar de afgedamde kavelsloten zorgde binnen de groeiseizoenen voor hogere slootpeilen bij alle agrariërs; idem in het najaar van 2021 en voorjaar van 2022; doelbereik hogere slootpeilen dan polderpeil is behaald.
- Slootpeilen in de polder pieken bij veel neerslag/zware buien, daardoor pieken ook de slootpeilen rondom de proefsloten, omdat deze dan niet kunnen afwateren. We blijven daarmee onder afvoer-omstandigheden afhankelijk van het beheer van het polderwater; de daling van de piek in de slootpeilen van de proefpercelen is even snel als de daling van het polderpeil, totdat we via de dammen niet verder zakken met de peilen in de proefsloten.
- Op alle locaties laten sensoren in de pompput en in de drain eenzelfde verloop zien van de waterstand. Dit betekent dat de drain in goede verbinding staat met de put en water vrij de drains inloopt. De systemen werken goed.
- Door uitval van druksensoren zijn er gaten ontstaan in de meetreeksen. Deze kunnen grotendeels worden opgevangen met de gemeten waterstand in de drain, die in correct-bemeten tijdperiodes goed overeenkomt met de freatische grondwaterstand.
- De metingen laten zien dat de grondwaterstanden op het proefperceel in natte perioden vrijwel gelijk (hoog) kunnen zijn aan die op het referentieperceel. De waargenomen gang is ook dan identiek, zolang er niet UIT wordt gepompt.
- Als het qua weer droger wordt, dan zijn de grondwaterstanden op het proefperceel duidelijk hoger en meer stabiel hoog, als gevolg van de subirrigatie en hogere slootpeilen. Dit is een positief resultaat van de proef. De proef creëert dus verschil in gemeten freatische grondwaterstanden, deze zijn doelbewust hoger.
- De verschillen in de metingen worden grilliger als er vaker en sneller met het systeem wordt gestuurd en wordt ingegrepen door water aan en af te voeren. Als we stabiele toestanden willen hebben op de percelen, dan is het advies niet te snel en niet teveel IN en/of UIT pompen. Beter niet UIT pompen, maar uit laten zakken.
- De proeven beïnvloeden de aanwezige kwel (deze wordt kleiner tot nul) en de wegzijging (deze wordt groter). Bij Baan is er sprake van een gemiddelde wegzijging-situatie (water van perceel stroomt van perceel naar deklaag) en bij Verhoef en Heikoop van een gemiddelde kwelsituatie (water stroomt van deklaag naar perceel).
- De sturing van de waterstand in de pompput is van groot belang en heeft extra aandacht nodig, met name in geval van een opbolling bij en na neerslag. De waterstand in de put moet bij deze systemen en drainafstanden duidelijk hoger zijn, om een vergelijkbare opbolling en freatische grondwaterstand te verkrijgen als bij een afvoersituatie zonder drainagebuizen (referentiepercelen). We zien dat tijdens een drainage-situatie mogelijk gemiddeld lagere grondwaterstanden op proefpercelen optreden, **als de waterstand in de pompput niet hoog genoeg wordt ingesteld.**
- In een aanvoersituatie door subirrigatie via de drainagebuizen vindt er een duidelijke vermindering en afvlakking van de uitholling plaats, uiteindelijk een verhoogde freatische

grondwaterstand boven de drainbuizen. Er kunnen dus gemiddeld hogere grondwaterstanden gerealiseerd worden, zoals uit onze veldwaarnemingen blijkt.

- De drukhoogte is een directe maat/indicatie van eventuele droogtestress van het gras. Zuigspanning is een ander woord voor negatieve drukhoogte (min-teken; < nul). Plantenwortels nemen meer of minder water op als de drukhoogte in de bodem hoger is (natter) of lager is (droger). Een meting van het bodemvochtgehalte is hiervan een afgeleide. Dit komt door de bodemfysische eigenschappen van bodems, zo ook van (moerig) veen, via de pF-curve.
- Er is een duidelijk hogere watervraag van de proefpercelen bij droog weer, met als positief en beoogd effect hogere bodemvochtgehaltes en hogere grondwaterstanden. Aan deze watervraag moet dan wel voldaan kunnen worden vanuit de polder (inlaatwater voldoende).
- Een systeem van regelbare drainage met subirrigatie is beter in staat om grondwaterstanden op percelen te sturen dan kavelsloten.

Effecten op bodembeweging

- De continu gemeten bodembeweging op de twee percelen bij Baan laat duidelijk effecten van het weer en van de bediening van de systemen zien; het aanvoeren van water heeft een positief effect op de bodembeweging (minder beweging en minder daling tijdens droog weer); het afvoeren van water onder natte condities geeft direct een duidelijk dalend effect te zien; de reeks aan waarnemingen breiden we uit. In het najaar 2021 'veerde' de gedaalde bodem op het referentie-perceel terug tot 2-3 mm beneden de beginstand van de m.v.-hoogte. Momenteel (stand medio oktober 2022), na een drogere zomer in 2022, is de m.v.-hoogte deels gestegen na een natte septembermaand, maar nu stabiel en relatief 40 mm lager dan de m.v.-hoogte van het proefperceel. De a.s. wintermaanden (2022/2023) vormen een belangrijke meetperiode.
- De waterpassingen ter controle van de funderingspin in februari 2021 en in september 2022 tonen dat de gehele bodemkolom tot in het zandpakket >10 m-m.v. ter plekke van de VSM-sensor zakt met 2,3 (proefperceel) tot 2,8 cm (referentieperceel). We voorzien twee VSM-waterpassingen-controlemetingen in 2023, op basis waarvan we de metingen in de gehele projectperiode gaan duiden.
- Belangrijkste oorzaken van bodembeweging in onze pilot zijn krimp, zwel, veenoxidatie (aeroob en/of anaeroob; op basis van ander onderzoek nog nader te duiden) en het bedienen van het systeem; via subirrigatie (pomp IN) worden de percelen natter en beweegt de bodem minder op en neer; via drainage (pomp UIT) daalt de bodem, al dan niet tijdelijk.
- De variatie van de maaiveldhoogte in de tijd vanaf februari 2021 tot medio oktober 2022 is kleiner bij het proefperceel; de dynamiek in de beweging is groter op het referentieperceel. Het verschil in maaiveldhoogte tussen het proefperceel en het referentieperceel laat zien dat de maaiveldhoogte van het referentieperceel meer/sterker afneemt in de tijd dan die van het proefperceel. In 15 à 16 maanden tijd is de netto daling van het maaiveld op het referentieperceel 40 mm groter dan op het proefperceel (data tot medio oktober 2022). De proef blijkt dus verschil te maken in het vochtprofiel van de klei-op-veenbodem en in de bodembeweging. Een positief resultaat.

Effecten op productie grasland

- Het effect van de proef op de productie van grasland (droge-stof / d.s. in kg/ha) is beperkt; er zijn op jaarbasis kleine verschillen gemeten tussen proef- en referentieperceel van Baan in 2021 en 2022. De productie op het proefperceel neemt relatief toe in snedes in augustus en september, die kleiner van absolute omvang zijn.
- Het is de vraag of we met de huidige proeven ter vernatting te perceel Baan de d.s. productie van grasland significant (>10%) kunnen verhogen. De huidige cijfers maken daarin te weinig verschil.

De rol van holle percelen en greppels

- De vorm van het maaiveld en de aanwezigheid van greppels maakt de sturing meer complex. Het maaiveld kan bol, vlak of hol zijn. Greppels zien we met name terug in het veld bij holle percelen. Daarmee komen de bodems van de greppels (in m+NAP) in de buurt van het polderpeil. Grondwater dat we via subirrigatie verhogen, kan aldus tot afvoer komen via de greppels, als deze kunnen afwateren naar de sloten. Een hogere peilsturing vanuit de regelput zal dan leiden tot meer afvoer van water, waardoor de stijging van de freatische grondwaterstand gelimiteerd wordt. Holle percelen en de aanwezigheid van greppels zijn beide apart en tesamen beperkend in het mogelijk verhogen van de grondwaterstand.

6 Aanbevelingen

Onze aanbevelingen luiden als volgt:

- Handwaarnemingen aan grondwaterstanden en slootpeilen zijn uitgebreid in 2022. Ter discussie stellen of we nog verder moeten intensiveren in 2023.
- We voorzien twee VSM-waterpassingen-controlemetingen in 2023, op basis waarvan we de metingen bodembeweging in de gehele projectperiode gaan duiden. Aanleiding hiervoor is de waargenomen beweging van de funderingspinnen te percelen van Baan en het feit dat in het kader van het NOBV-onderzoek weinig tot geen beweging van de Pleistocene ondergrond op andere meetlocaties in Nederland wordt gemeten (mondelinge mededeling Gilles Erkens, Deltares).
- Eventuele terugloop en lekkage bij/rond dammen in kavelsloten verhelpen.
- Bediening systemen en inzet greppels tijdens met name bij hoogwater blijft punt van aandacht.
- Management in winter 2022/2023 en seizoen 2023 moet (nog) meer gericht zijn op het niet uitpompen van water via de drainagesystemen.
- Monitoring van de grasland-opbrengst bezien. Gewasopbrengst vergt vergelijking met ander onderzoek, te Zegveld, in situaties met plas-dras-proeven, projecten HDSR, GCK en onderzoek NOBV, Hoogwaterboerderij, ...; data en kennis delen.
- Bio-drains bij Verhoef opgraven na groeiseizoen 2023.
- Communicatie van (tussentijdse) resultaten intensiveren; discussie met opdrachtgevers (PZH, PU, RMA) en met derden (NOBV-onderzoekers, VIC, WUR-WLR, Bureau B-Ware, ...).
- Beëindiging-verlenging proef bespreken in vroege voorjaar 2023.
- Ontmanteling opstellingen in veld voorbereiden.
- Doorgaan met VSM-metingen bodembeweging in en na 2023; meetnet uitbreiden met andere locaties in regio/streek, mede i.v.m. informatie uit documenten voorbereiding peilbesluit Waterschap Rivierenland (2022).

7 Bibliografie

Bakel, Jan van, Gé van den Eertwegh, Harry Massop en Jaïrus Brandsma (2013): KlimaatAdaptieve Drainage: Landelijke geschiktheid van conventionele, samengestelde peilgestuurde en klimaatadaptieve drainage. FutureWater rapport nr. 118.

Bakel, Jan van, en Lodewijk Stuyt (2022). Gecontroleerde buisdrainage in regionale modellen: theorie, modellering en de kloof met de veldsituatie. NHV Stromingen 2022 (28) nr. 1.

Bakel, Jan van, en Lodewijk Stuyt (2022). Weerwoord op de reactie van Hans Mankor, Annette van Schie, Harm de Jong en en Klaas Kooistra op 'Gecontroleerde buisdrainage in regionale modellen: theorie, modellering en de kloof met de veldsituatie'. NHV Stromingen 2022 (28) nr. 3.

Bartholomeus, R.P., G.A.P.H. van den Eertwegh, and G. Simons (2015): Anticipating on amplifying water stress: Optimal crop production supported by anticipatory water management. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU 2015-5354, 2015, EGU General Assembly 2015.

Bartholomeus, Ruud, Gé van den Eertwegh en Marjolein van Huijgevoort, 2018. Monitoring veldproef America, Waterschap Limburg. KWR rapport 2018.029, maart 2018.

Besten, j. den (2022). Veldmetingen penetrometer. Rapport XXX van KTC Zegveld.

BBWM (2007). Beter Bouw en Woonrijp Maken - Ontwatering in stedelijk gebied. Projectnummer P07467 en GD112-7.

Caverzam Barbosa, Erica (2021). Pilot subirrigatie – plan van aanpak moldrainage. Memo Waternet, Amsterdam.

Deijl, D. van, S. van Asselen, B. Voortman, G. Erkens en G. van den Eertwegh (2022). Verticale beweging van de veenbodem – meettechnieken en ervaringen te Zegveld. NHV Stromingen 28 (2022) 2, pp. 5-19.

Eertwegh, G.A.P.H. van den, L. Kuipers, W. Klerk, J. van Bakel, L. Stuyt, A. van Iersel en M. Talsma (2012): KlimaatAdaptieve Drainage: middel tegen piekafvoeren en watertekorten. H2O/18-2012.

Eertwegh, Gé van den, Leo Kuipers, Wim Klerk, Jan van Bakel, Lodewijk Stuyt, Ad van Iersel en Michelle Talsma (2013): KlimaatAdaptieve Drainage: een innovatieve methode om piekafvoeren en watertekorten te verminderen. Eindrapportage Fase 2 'Onderzoek en Ontwikkeling'. Referentienummer SBIR113008. FutureWater rapport nr. 121.

Eertwegh, G.A.P.H. van den, P.J.T. van Bakel, L. Stuyt, A. van Iersel, L. Kuipers, W. Klerk, M. Talsma (2013): Waterregie in droge en natte tijden. H2O-5, 2013.

Eertwegh, Gé A.P.H. van den, en Henk A.R. de Bruin (2017). Werkelijke verdamping: naar een integrale benadering vanuit hydrologisch en meteorologisch oogpunt. NHV Stromingen 30 (2017) nr. 4.

Hoving, I.E. et al., 2008. Hydrologische en landbouwkundige effecten van gebruik onderwaterdrains op veengrond. WUR-Animal Sciences Group, Rapport 102.

Hoving, I.E. et al., 2018. Precisiewatermanagement veenweidegebied.

Hoogland et al., 2019. Bacteriën bepalen de snelheid van veenafbraak. H2O Online, 2-7-2019.

Houwelingen, K. van, en J. den Besten (2022). Pilot Drukdrainage/waterinfiltratie in de Vijfheerenlanden en de Alblasserwaard. Met dwarsprofielmetingen hoogte maaiveld (1 tot 3 greppels proefpercelen).

Kooistra, Klaas (1990). Aanleg en onderhoud van drainage. Misset - Doetinchem.

Mankor, Hans, Annette van Schie, Harm de Jong en Klaas Kooistra (2022). Reactie op 'Gecontroleerde buisdrainage in regionale modellen: theorie, modellering en de kloof met de veldsituatie'. NHV Stromingen 2022 (28) nr. 3.

NHV (2002). Hydrologische woordenlijst. NHV-werkgroep, Nederlandse Hydrologische Vereniging.

Provincie Zuid-Holland, 2017. Provinciaal blad nr. 5313: Besluit van Gedeputeerde Staten van 31 oktober 2017 [DOS-2016-0005086 [PZH-2017-615692099]], tot vaststelling van het Openstellingsbesluit projectsubsidie soortenbeleid leefgebied en maatregelen verbetering natuurwaarden Zuid-Holland 2017 (Openstellingsbesluit projectsubsidie soortenbeleid leefgebied en maatregelen verbetering natuurwaarden Zuid-Holland 2017).

Slochteren, F. van (2021). Van greppel tot drainagebuis. Een interdisciplinair onderzoek naar het verleden en de toekomst van detailontwatering in het noordelijke kleilandschap. RU Groningen. Masterscriptie.

STOWA (2020). Deltafact Bodemdaling. Versie 3.1.

Voortman, Bernard, Joost Sleiderink, Dion van Deijl, Nyncke Hoekstra, Merijn van den Hout, Nick van Eekeren en Gé van den Eertwegh (2022). Een generieke methode voor het berekenen van potentiële verdamping op basis van gemeten gewaseigenschappen. In voorbereiding. NHV Stromingen (2022).

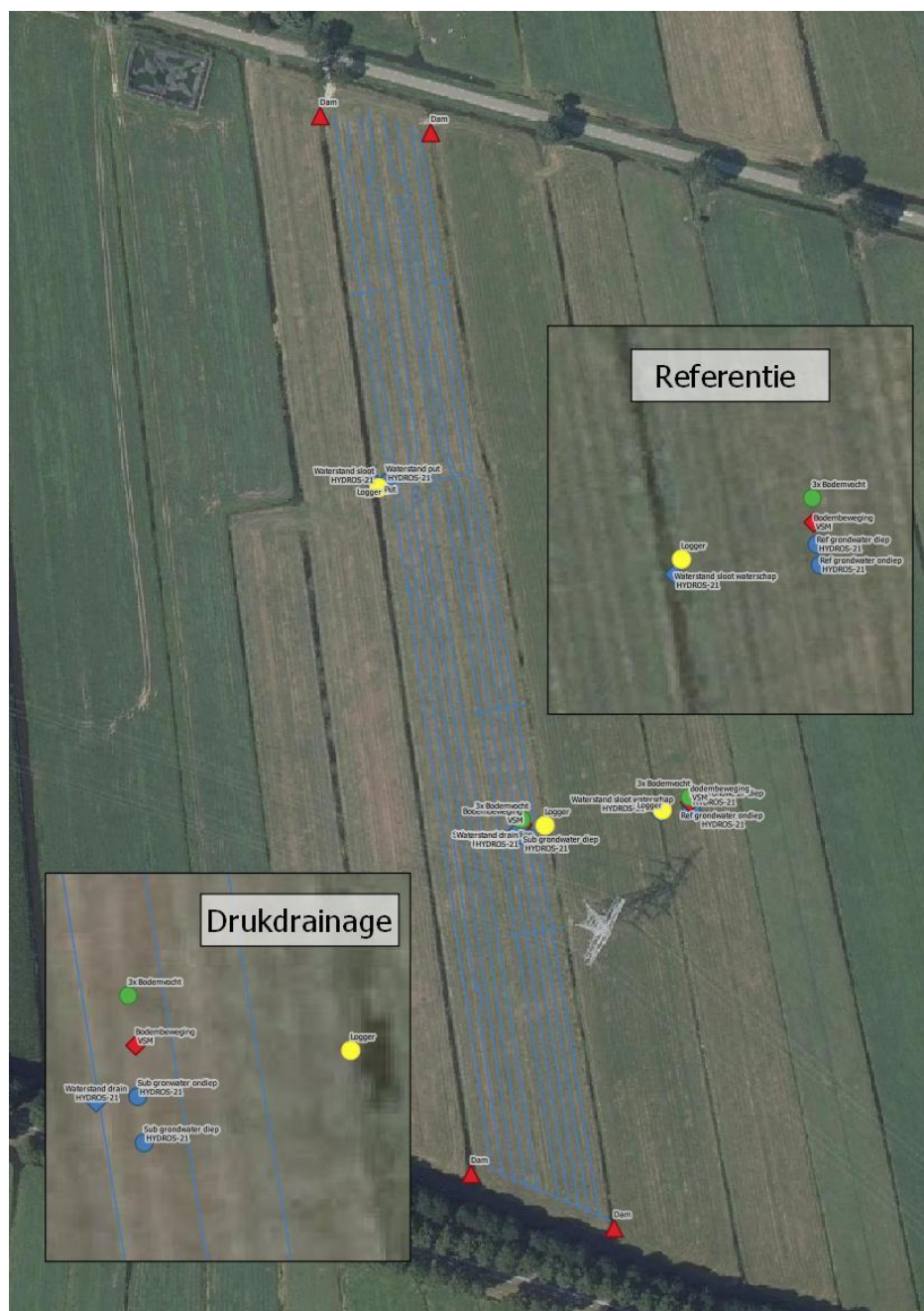
Waterschap Rivierenland (2022). Resultaten analyse maaiveldddaling Alblasserwaard met uitgangspunten voor het peilbesluit Alblasserwaard. Bestuursvoorstel AV januari 2022, met bijlagen.

8 Bijlagen

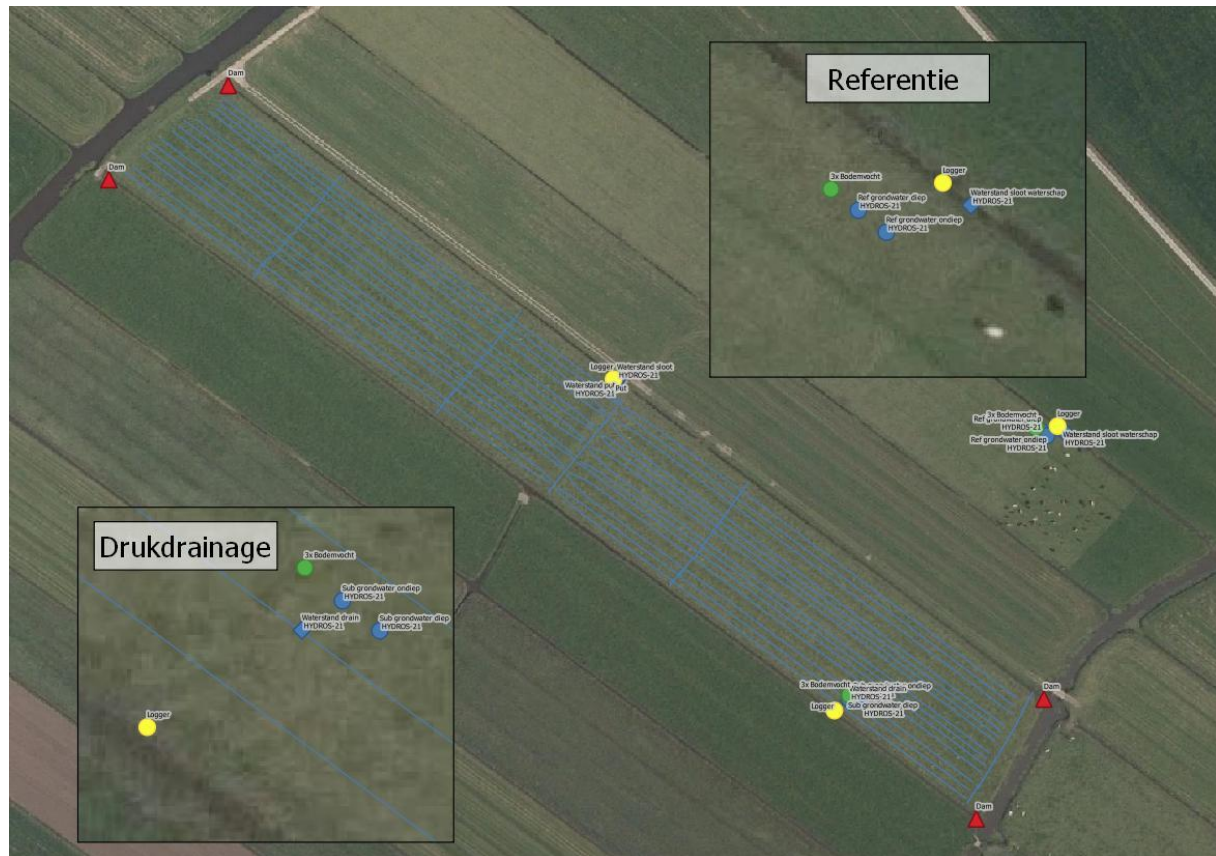
8.1 Kaarten van percelen

We hebben de volgende percelen in het project voorzien van systemen en meetapparatuur.

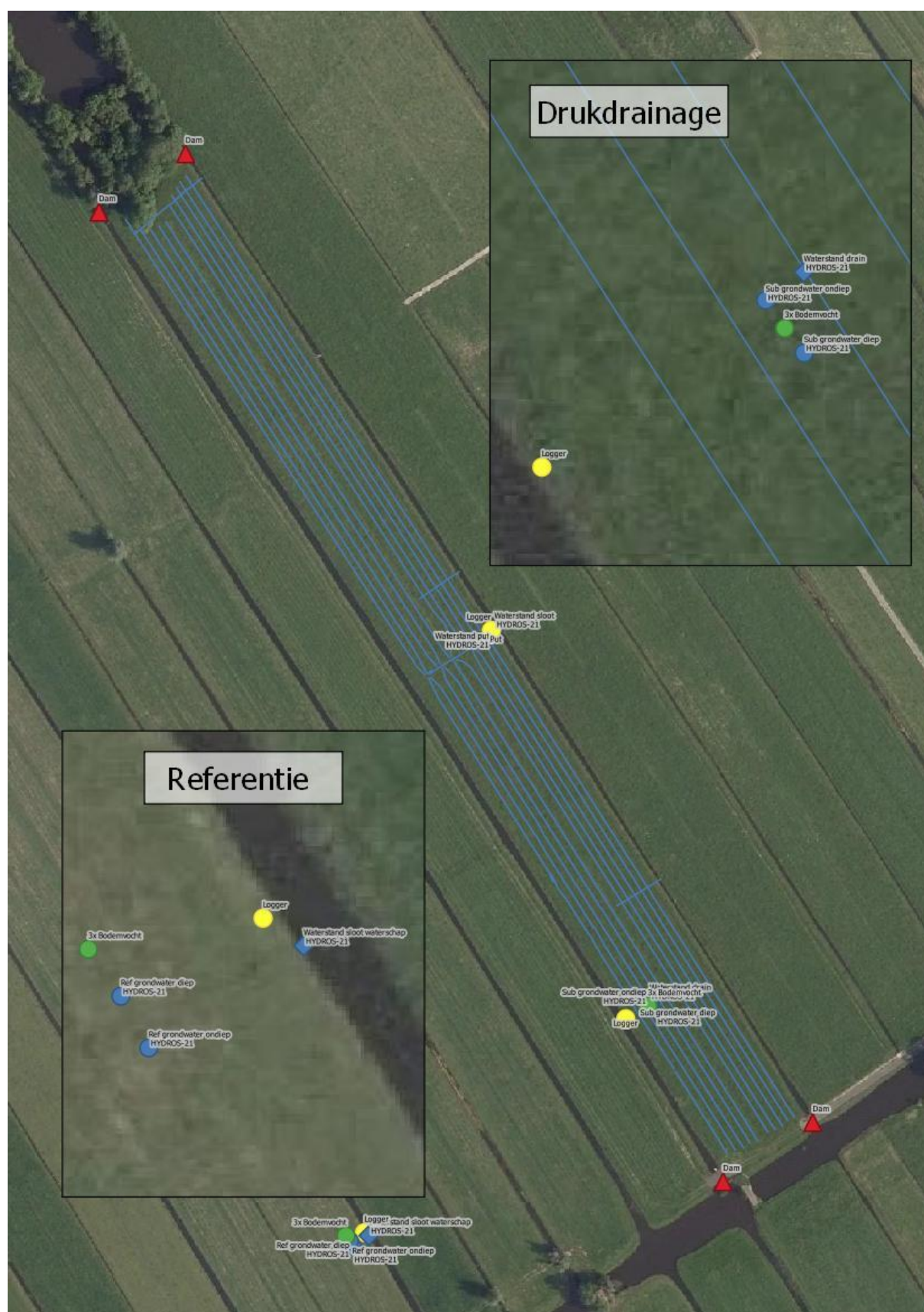
Kees Baan (oppervlakte proefperceel 2,95 ha)



Peter Heikoop (oppervlakte proefperceel 3,71 ha)

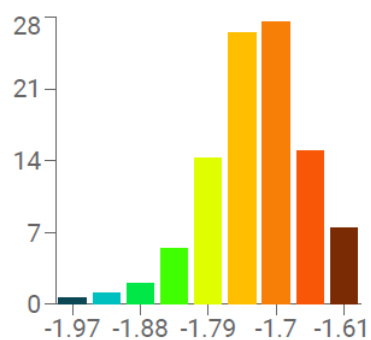


Mattias Verhoef (oppervlakte proefperceel 2,62 ha)

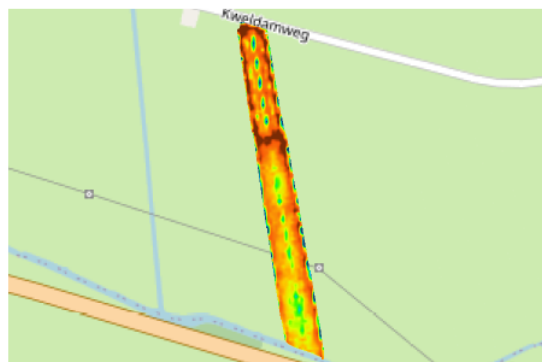


Maaiveldhoogte proefperceel Kees Baan. Bron: Boer en Bunder. Eenmaal drie greppels (noord) en een greppel (zuid) zichtbaar.

HOOGTE

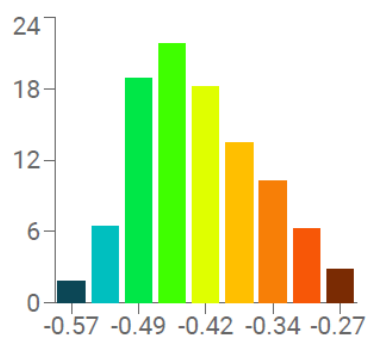


laagst: -1.99 m
 gemiddeld: -1.73 m
 hoogst: -1.59 m
 verschil: 0.41 m



Maaiveldhoogte proefperceel Peter Heikoop. Bron: Boer en Bunder. Tweemaal drie greppels (noord) en twee greppels (zuid) zichtbaar.

HOOGTE

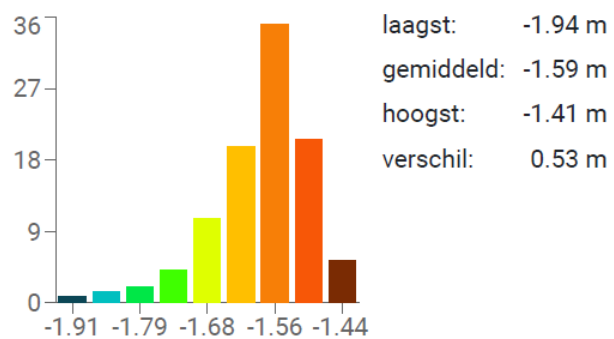


laagst: -0.58 m
 gemiddeld: -0.42 m
 hoogst: -0.25 m
 verschil: 0.34 m



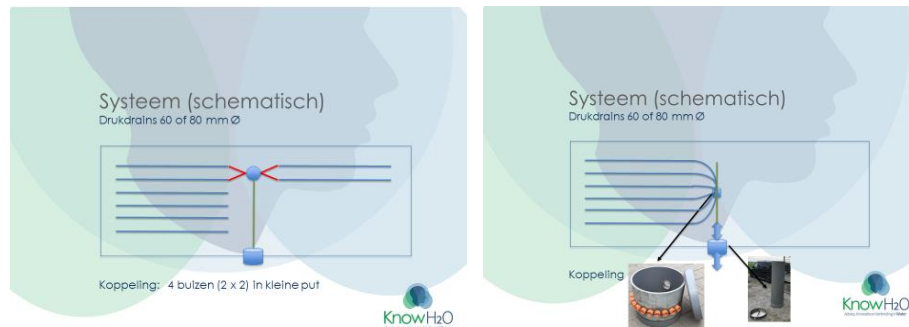
Maaiveldhoogte proefperceel Matthias Verhoef. Bron: Boer en Bunder. Tweemaal een greppel (noord en zuid) zichtbaar.

HOOGTE



8.2 Documentatie aangelegde systemen regelbare drainage met subirrigatie

We werken normaal gesproken in het veenweidegebied met PE-zuigdrains met een diameter van 60 mm met omhulling (PP-450). We gaan, voordat we tot de aanleg van systemen overgaan, voor- en nadelen na van biologisch afbreekbare drainagebuizen (levensduur 10 à 15 jaar; NB is optie) met een diameter van 80 mm. De gewenste drainafstand is hoe dan ook 4 m en de diepteligging 0,7 tot 0,8 m-mv. De lengte van de buizen varieert tussen 250 en 275 m.



Figuur – Drukdrainage: schematische weergave koppeling drainagebuizen op dichte verzamelleiding.

Centraal op de percelen bevindt zich een dichte verzamelleiding met een diameter van 125 mm. De drainbuizen worden ofwel twee aan twee (vier stuks totaal) gekoppeld via een verbindingstuk in de verzamelleiding (links), ofwel gaan alle direct naar een centrale koppelpot (Figuur 15). De verzamelleiding is verbonden met de regelpot. Wellicht leggen we twee regelputten aan, aan weerszijden van het perceel, waarbij één regelpot voorzien is van een pomp. Deze en ook de andere put kan ook direct aangesloten worden op de kavelsloot. We overwegen voorzieningen aan te brengen voor ontluchting, koppeling en schoonmaken van de drainbuizen aan achterzijde. Ook willen we de waterstand in het systeem op diverse plekken kunnen meten.

De beoogde waterstand willen we tot aan maaiveld kunnen opzetten met een pompsysteem op zonne-energie dat op afstand controleerbaar is. Daarbij houden we rekening met het risico op doorbraak/'wellen' aan het begin van het drainagesysteem nabij de put, waar de waterstand wordt gerealiseerd. De gewenste capaciteit van het pompsysteem bedraagt qua waterafvoer 2 mm/d en voor de aanvoer van water 5 à 7 mm/d. We creëren de technische mogelijkheid tot het bemalen van het systeem. We bezien of we de aansturing van het systeem gaan organiseren via telemetrie, à la Klimaat Adaptieve Drainage (KAD; Van den Eertwegh et al., 2012; 2013; zie ook <https://www.programmalumbricus.nl/>).

8.3 VSM sensor – Vertical Soil Movement - meting bodembeweging aan maaiveld

Met onze VSM-sensor (product van KnowH2O en Moisture Matters) meten we quasi continu i.c. elke 15 minuten de verticale positie van het maaiveld ten opzichte van een in het zand gefundeerde ijzeren stang (Van Deijl et al., 2022). De positie van deze stang is nauwkeurig ingemeten ten opzichte van NAP. Er staat een VSM-sensor op het proefperceel en op het referentieperceel bij Kees Baan. De meetnauwkeurigheid van de sensor is ongeveer 0,2 mm. De sensor is getest in een meetopstelling te Zegveld vanaf begin februari 2020, in samenwerking met Gilles Erkens en Sanneke van Asselen van Deltares en Avallo Advies. De conclusies op basis van vergelijking van metingen met een extensometer op 5 cm-m.v. is dat beide instrumenten goed vergelijkbare en plausibele waarnemingen opleveren. Een artikel hierover zal begin 2022 verschijnen.



Figuur - Foto van VSM-sensor op proefperceel bij Kees Baan. Twee grondwater-peilbuizen ondiep en diep staan in directe omgeving ervan, mede gefundeerd door VSM-sensor-opstelling.

8.4 Begrippenlijst

Begrip/symbool	Betekenis	Opmerking
EC	Elektrische geleidbaarheid	
DD	DrukDrainage	
WIS	WaterInfiltratieSysteem	
AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland	
RTK - GPS	Real Time Kinematic - Global Positioning System https://nl.wikipedia.org/wiki/RTK	

Zie voor hydrologische begrippen: NHV (2002).

8.5 Betrokken partijen





© KnowH2O - 2022