



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

Realisatie van hogere grondwaterstanden ter
reductie van maaiveldddaling in veenweidegebieden
en hydrologie

Gé van den Eertwegh en Dion van Deijl

Eindrapportage

Datum: 11-4-2024

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

Projectleiding: Rolia Wiggelinkhuijsen/Stichting Blauwzaam

Colofon

Titel

Regelbare drainage met subirrigatie en hogere slootpeilen in regio Alblasserwaard-Vijfheerenlanden: realisatie van hogere grondwaterstanden ter reductie van maaiveldddaling in veenweidegebieden en hydrologie

Opdrachtgevers-financiers

Provincie Zuid-Holland, Provincie Utrecht, Regionale Maatschappelijke Agenda (RMA) regio Alblasserwaard Vijfheerenlanden, in-kind inzet van KnowH2O

Projectteam

Gé van den Eertwegh en Dion van Deijl

Kader

Dit rapport maakt deel uit van het project 'Drukdrainage Alblasserwaard-Vijfheerenlanden' (<https://www.blauwzaam.nl/projecten/blauwgroen/pilot-drukdrainage/>)

Het werk en het rapport is tot stand gekomen in nauwe samenwerking met Waterschap Rivierenland en andere projectpartners. Tussenresultaten zijn diverse malen met betrokkenen gedeeld in de jaren 2020 t/m 2024

Regelbare drainage met subirrigatie – Drukdrainage – AWIS Actief WaterInfiltratie Systeem

Dankwoord

Bij de voorbereiding, uitvoering en afronding van ons werk hebben we hulp en steun gehad van betrokken collega's, partners, deelnemers, opdrachtgevers, en anderen. Met het risico dat we iemand vergeten zijn hier beneden te noemen: dank je wel!

Stichting Blauwzaam – Rolia Wiggelinkhuijsen

Agrariërs

Peter Heikoop, Kees Baan, Mattias Verhoef en Jan den Besten

Waterschap Rivierenland

Ronald Gylstra, Ton van der Putten, Judith van Tol, Daan Willems

Avallo Advies

Jon Mensink, Tom Mensink, Stefan Dille

Moisture Matters

Bernard Voortman

AGV/Waternet

Henk van Hardeveld, Stefan Fritz, Jan Olsman

Barth Drainage BV

Henk Barth, Peter de Jong de Leeuw

Samenvatting

De meeste bodems in het landelijk gebied in de regio Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden zijn in gebruik als grasland binnen melkveehouderijbedrijven. De bodems kennen in meer of mindere mate langjarig gezien 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 (ofwel drukdrainage ofwel actief waterinfiltratie systeem) kan een deel van de oplossing zijn voor lucht-, bodem- en wateropgaven en -doelstellingen. We willen daarom met deze systemen ervaring opdoen in de praktijk 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, in combinatie met hogere slootwaterpeilen dan het omringende polderpeil.

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: reductie van de 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 en met december 2023. 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 pomp/regelputten (hierna: pompput). 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 put. In drogere tijden (2022, 2023) 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 bodemvochtgehaltenes 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.

De gehele meetperiode is 22-2-2021 tot en met 31-12-2023. We hebben in 2023 twee aanvullende waterpassingen-controlemetingen uitgevoerd op de sensor bodembeweging (VSM), op basis waarvan we de metingen bodembeweging in de gehele projectperiode hebben geduïd en plausibel hebben bevonden. Het maaiveld op het proefperceel daalt 7 mm, op het referentieperceel 16 mm. Omgerekend is dat een jaarlijkse bodemdaling van 2,5 mm/j voor het proefperceel en 5,6 mm/jaar voor het referentieperceel. Het referentieperceel daalt met een factor van 2,3 meer. De variatie van de maaiveldhoogte in de tijd 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. De proef blijkt dus verschil te maken in het vochtprofiel van de klei-op-veenbodem en in de bodembeweging. Een positief resultaat.

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, 2022 en 2023. 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 pompput 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.

Vernatting betekent de berging van water in de veenbodem op peil houden of verhogen. Berging van water vindt plaats via vocht in de bodem, die verzadigd is vanaf de freatische grondwaterstand neerwaarts. Uitputting van de waterberging in het bodemprofiel kan plaatsvinden via verdamping (beter: neerslagtekort) en wegzijging, daardoor zakken de grondwaterstanden in het groeiseizoen uit. Het op peil houden van de waterberging betekent dus het compenseren van het neerslagtekort en van de (toegenomen) wegzijging bij vernatting. Dat blijkt ook uit waarnemingen in dit project. Daarmee is het potentieel neerslagtekort in het groeiseizoen een redelijk tot goede maat voor de werkelijke watervraag van de systemen.

KNMI (2023) en Deltares, RWS en KNMI (2023) geven aan dat grosso modo in klimaatscenario's het potentieel neerslagtekort in de zomermaanden en groeiseizoen groter wordt en de rivierafvoeren in zomer gaan dalen. De watervraag voor vernatting gaat dan toenemen en de waterbeschikbaarheid gaat afnemen. Dat maakt dat de succeskans voor vernatting en bijbehorende doelen kleiner wordt met de tijd.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave	7
1 Inleiding.....	9
2 Probleem- en doelstelling.....	13
3 Uitvoering veldproeven.....	15
3.1 <i>Agrariërs en locaties</i>	15
3.2 <i>Monitoring</i>	18
3.2.1 <i>Vanaf start project</i>	18
3.2.2 <i>Aanpassingen en waarnemingen in 2023</i>	20
3.3 <i>Analyse van gegevens oktober 2021 t/m december 2023</i>	20
4 Resultaten	21
4.1 <i>Neerslag en Makkink referentiegewas-verdamping KNMI</i>	21
4.2 <i>Werking van systemen</i>	23
4.2.1 <i>Hoogwatersloten</i>	23
4.2.2 <i>Drainage en subirrigatie</i>	27
4.3 <i>Effect op grondwaterstand, kwel/wegzijging en bodemvochtgehalte</i>	30
4.3.1 <i>Freatische grondwaterstand</i>	30
4.3.2 <i>Kwel en wegzijging</i>	38
4.3.3 <i>Bodemvochtgehalte</i>	45
4.4 <i>Gemeten waterafvoer via greppels</i>	50
4.5 <i>Waterbalans proefperceel</i>	52
4.6 <i>Waterbalans sloot</i>	58
4.7 <i>Watervraag voor subirrigatie proefpercelen</i>	59
4.8 <i>Gewastranspiratie en droge-stof opbrengst gras bij Baan</i>	61
4.9 <i>Effect regelbare drainage met subirrigatie op verticale bodembeweging</i>	66
4.10 <i>Effect regelbare drainage met subirrigatie op waterkwaliteit</i>	69
5 Conclusies	71
6 Aanbevelingen	76
7 Bibliografie	77
8 Bijlagen	81
8.1 <i>Kaarten van percelen</i>	81
8.2 <i>Documentatie aangelegde systemen regelbare drainage met subirrigatie</i>	86
8.3 <i>VSM sensor – Vertical Soil Movement - meting bodembeweging aan maaiveld</i>	87
8.4 <i>Begrippenlijst</i>	88
8.5 <i>Betrokken partijen</i>	89

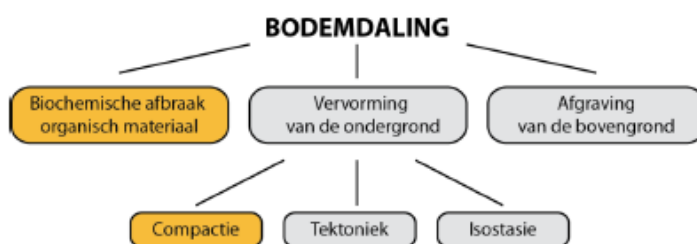
1 Inleiding

Het Rijk, provincies, gemeenten, waterschappen en de agrarische sector willen de bodemdaling in het veenweidegebied beperken, de uitstoot van broeikasgassen (CO₂, CH₄) verminderen en de chemische en ecologische waterkwaliteit verbeteren (KRW). Om bodemdaling te reduceren moeten de (klei-op) veenbodems met name in het zomerhalfjaar worden vernat, via het realiseren van hogere grondwaterstanden dan onder gangbare condities in het veenweidegebied het geval is. De GLG bij zomerpeil kan dieper reiken dan 1 m-m.v. Hogere grondwaterstanden leiden tot een dunnere onverzadigde zone (bodemzone boven de grondwaterstand) en hogere bodemvochtgehalten in de onverzadigde zone. Oxidatie van organische stof (veen) leidt tot emissie van broeikasgassen via aerobe afbraak (CO₂) en via anaerobe afbraak (CH₄). 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 parallelle greppels, om plassen te voorkomen en de (maaiveld)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 slooppeilen 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 (poro-elastische deformatie; grootte van bodemporiën verandert);
- 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 voor welk deel van de bodembeweging en/of bodemdaling zorgt (zie o.a. NOBV – samenvatting rapportage jaar drie – 14 juni 2023).

Intermezzo: bodemhoogtemetingen te Zegveld vanaf de 70-er jaren van de vorige eeuw (bron: NOBV – samenvatting rapportage jaar drie – 14 juni 2023).

7. Langetermijn bodemdalingmetingen met zakplaatjes

Veenoxidatie in veenweidegebieden veroorzaakt zowel broeikasgasemissies als bodemdaling. Vanwege de jaarlijkse schommelingen van het bodemoppervlak is langdurige monitoring nodig om de netto bodemdaling op lange termijn te bepalen. In de experimentele veenweideboerderij in Zegveld werden in 1970 zakplaatjes geplaatst in een veld met lage slootwaterstand, en in 1973 in een veld met hoge slootwaterstand. De plaatjes werden op 7 verschillende diepten geplaatst, zodat kon worden onderzocht waar in het veenprofiel bodemdaling optrad. Zowel de hoogte van de plaatjes als van het bodemoppervlak werden elk jaar aan het eind van de winter gemeten met een waterpas, zodat een lange tijdreeks beschikbaar is.

Uit analyse blijkt dat het maaiveld in het veld met hoge slootwaterstand in 49 jaar 22 cm daalde (4,5 mm jaar⁻¹), terwijl dit in het veld met lage slootwaterstand 33 cm was in 52 jaar (6,3 mm jaar⁻¹). Uit de resultaten blijkt ook dat in het veld met lage slootwaterstand de meeste bodemdaling door permanente krimp en oxidatie plaatsvond tussen 40 en 100 cm diepte, terwijl dit in het andere veld tussen 20 en 40 cm diepte was. Tenslotte werd onder continu verzadigde omstandigheden op 140 cm diepte nog bodemdaling waargenomen. Vermoedelijk is in het beluchte deel van het profiel oxidatie de belangrijkste oorzaak van bodemdaling, terwijl de waargenomen bodemdaling in de verzadigde bodem op 140 cm diepte het gevolg moet zijn van andere processen, zoals consolidatie en kruip.

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 breekt organische stof af door activiteiten van bacteriën (aeroob én anaeroob), met als gevolg bodemdaling en uitstoot van broeikasgassen. Dit speelt vooral in de zomer, wanneer de grondwaterstand daalt door een verdampingoverschot (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 bodemdaling over de jaren heen te reduceren. De (klei-op) veenbodem beweegt namelijk op en neer, als effect van de bovengenoemde processen. Deze processen zijn deels reversibel, waarbij de beweging omhoog en neerwaarts blijft gaan, deels van permanente aard: als organische-stof verdwijnt, 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 met de Vertical Soil Movement (VSM) sensor (Van Deijl et al., 2022). 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 krimp (minder), zwel (eventueel meer) en aerobe/anaerobe afbraak van organische-stof (minder). Compactie (meer) 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 pompput, waar water kan worden aangevoerd en/of afgevoerd (afvoer niet bij Verhoef) 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 van broeikasgassen (o.a. CO₂, CH₄, N₂O). Agrariërs hebben het voordeel dat indien er wateroverlast of droogteschade ontstaat, zij een middel/instrument hebben om het grondwaterniveau te kunnen sturen. Water vasthouden door drainage te beperken behoort ook tot de mogelijkheden, hetgeen leidt tot hogere grondwaterstanden.

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, Brandwijk en Molenaarsgraaf (2x biologische en 1x gangbare landbouw; Figuur 1). Er zijn regelbare drainagesystemen met subirrigatie aangelegd door Barth Drainage BV. Bij Peter Heikoop/Jan den Besten (aangeduid met Heikoop) en Kees Baan zijn de regelputten 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 agrariërs en het projectteam op het vlak van operationele bediening en onderhoud van de gebruikte systemen;
- Participatieve monitoring bevorderen bij de agrariërs;
- Communiceren van resultaten project, advies op basis van projectresultaten mede richten op mogelijke 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 de eindrapportage 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 ervaring in de praktijk 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 hebben 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 bepaald en het beheer ervan geoptimaliseerd (2021 t/m 2023). We hebben vastgesteld 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 hebben daarmee ook de technische aspecten van het drainagesysteem bekeken en geanalyseerd, zoals de watervoorziening in de ruimte en de doorvertaling van de externe waterstand via de pompput binnen het systeem naar de uiteinden (NB lange kavels). De effecten van de inzet van de systemen hebben we zelf bemeaten (o.a. hydrologie, temperatuur van bodem en water). We hebben geen metingen gedaan aan broeikasgas-emissies.

De actuele bodemhoogte en daarmee de bodembeweging hebben we continu gemeten 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 (thans werkzaam bij RWS) (<https://bodemdalingskaart.nl/onderzoek/>). We koppelen onze metingen en bevindingen actief aan onderzoek naar bodembeweging door Deltares te Zegveld (Sanneke van Asselen en Gilles Erkens; 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-opeengronden;*
- *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: reductie van bodembeweging (op de middellange termijn bodemdaling), meer biodiversiteit, weidevogels en betere 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 (hogere) slootpeilen in de regio.*

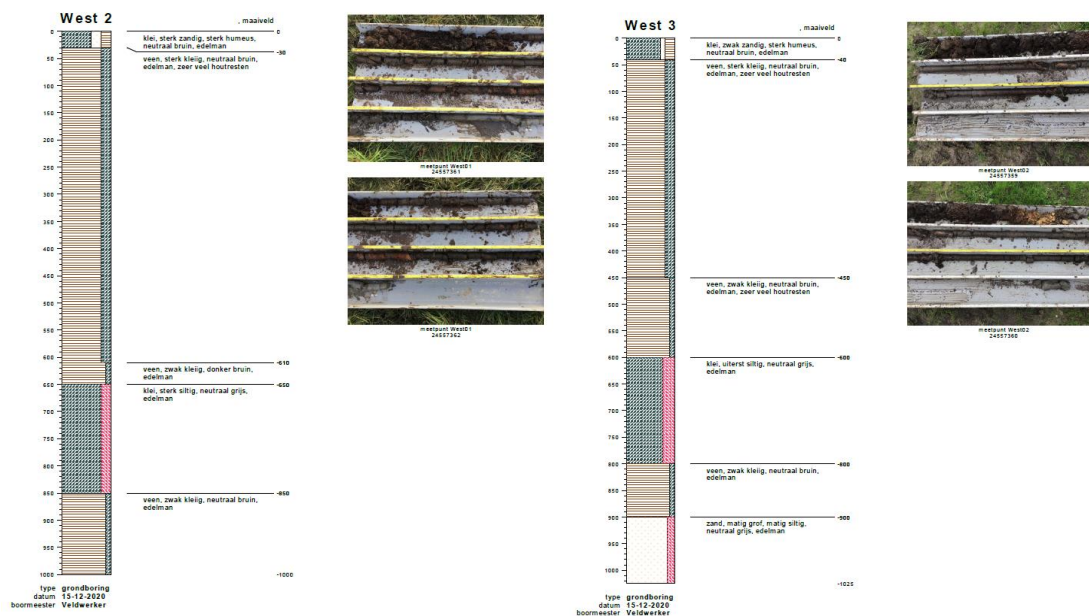
3 Uitvoering veldproeven

3.1 Agrariërs en locaties

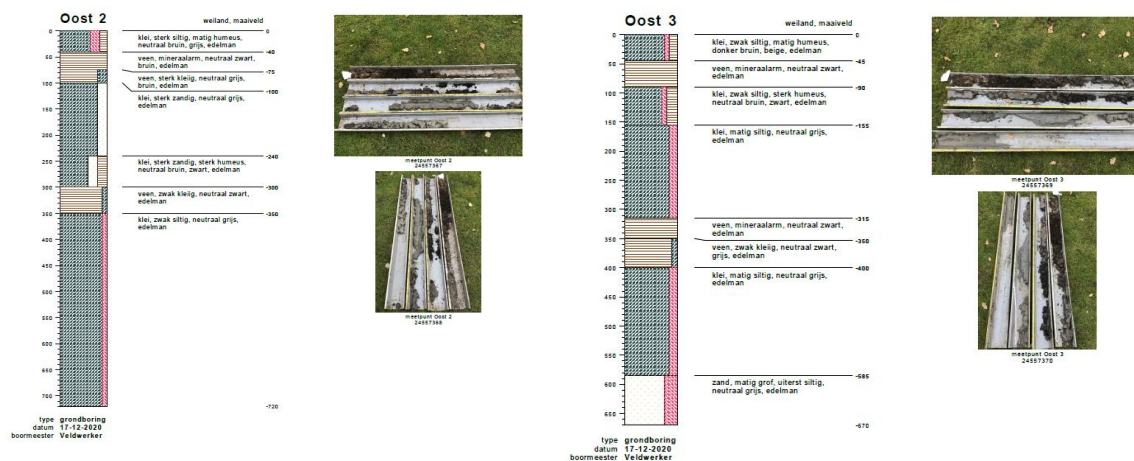
Mede dankzij hun eigen initiatieven heeft het projectteam in de Alblasserwaard-Vijfheerenlanden drie agrariërs kunnen organiseren die actief meedoen aan dit project:

- Kees Baan: gangbare melkveehouderij;
- Peter Heikoop en Jan den Besten: biologische melkveehouderij (aangeduid met 'Heikoop');
- Mattias Verhoef: biologische melkveehouderij.

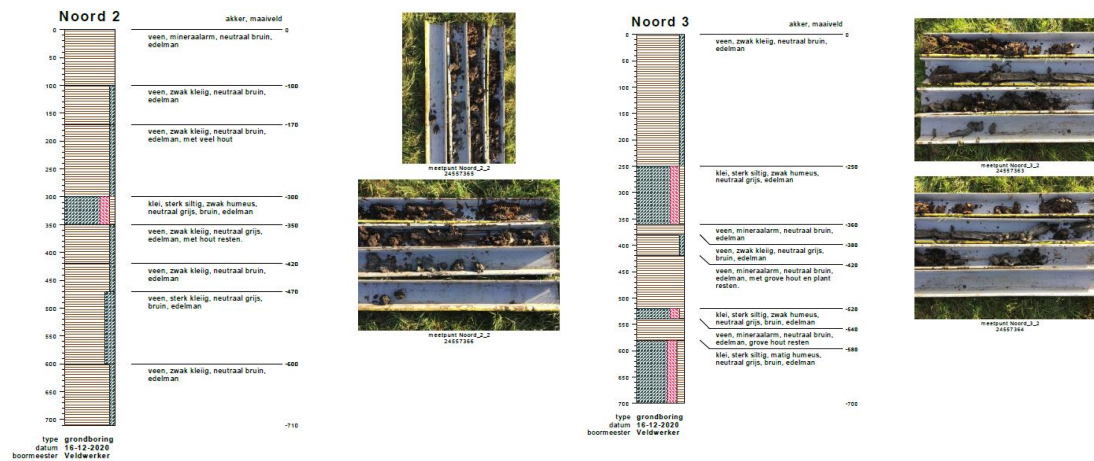
Het landgebruik betreft voor alle percelen permanent grasland. Bij Baan wordt dit alleen gemaaid, bij Verhoef en Heikoop ook beweid. De bodem (Figuur 2, 3 en 4) bestaat uit een teeltlaag, bij Kees Baan en Peter Heikoop gevolgd door een venige kleilaag op veengrond, met een wisselende dikte van de venige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



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



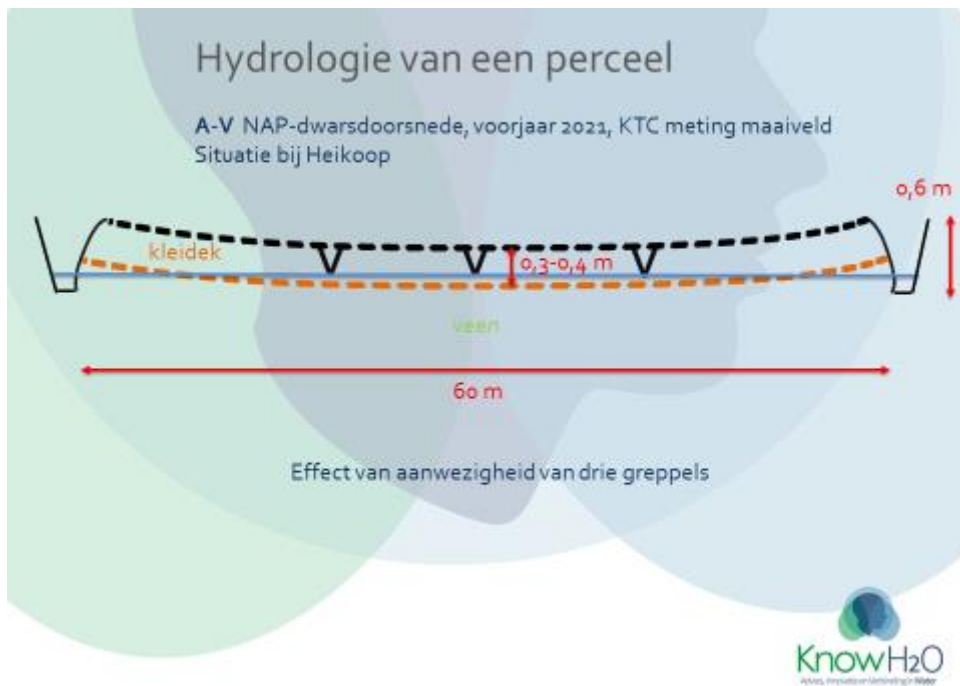
Figuur 3. Bodemopbouw percelen Peter Heikoop. Links proefperceel, rechts referentieperceel. Boorbeschrijvingen december 2020, bron: Avallo Advies.



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

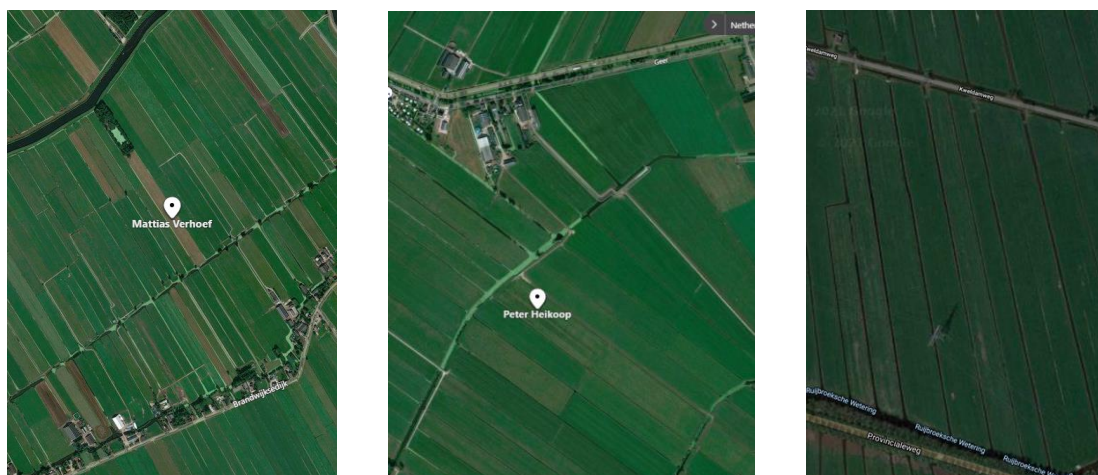
De percelen op de proeflocaties liggen hol en hebben één tot drie greppels (Van Houwelingen en Den Besten, 2021; Figuur 5; zie ook Bijlage 9.1). De vorm van het maaiveld (bol, vlak, hol) en de aanwezigheid van greppels (meestal bij holle percelen) is van belang voor het kunnen verhogen van de freatische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

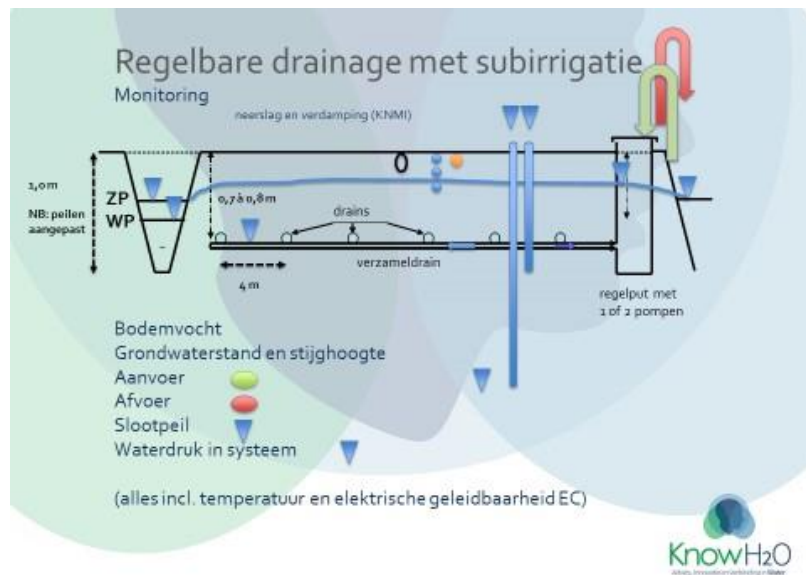
De drooglegging varieert bij winterpeil (WP) tussen 50 à 60 cm –m.v. Er worden door WSRL zomerpeilen (ZP) gehanteerd die ongeveer 10 à 15 cm hoger zijn dan WP. Deze peilen gelden voor de referentiepercelen en worden gerealiseerd door WSRL in de bijbehorende peilvakken. De waterpeilen in kavelsloten rondom 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.

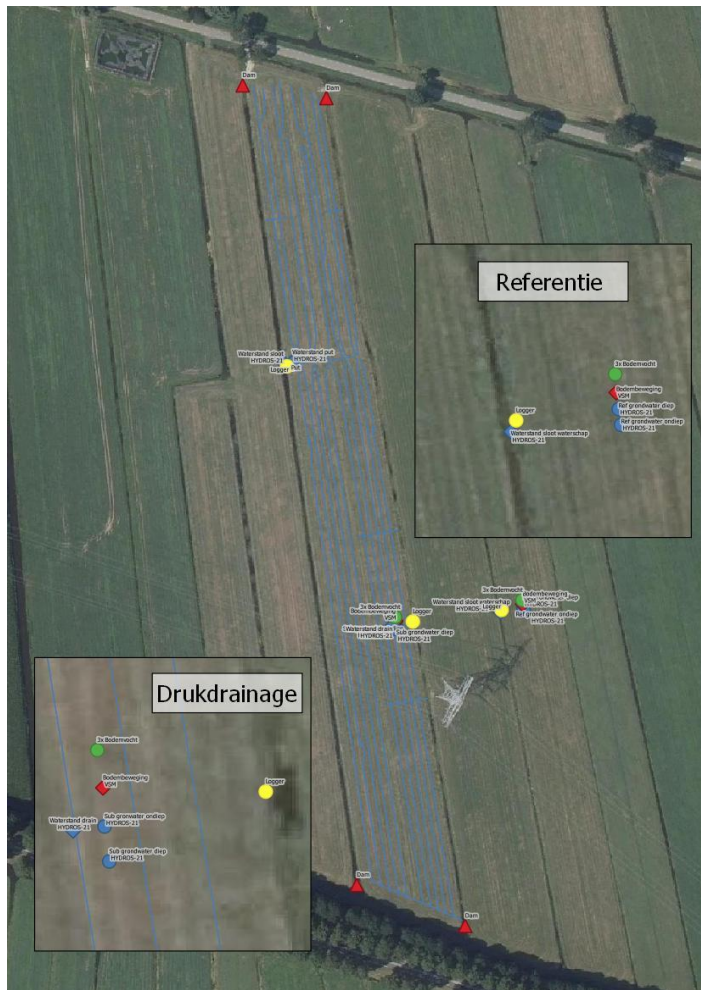
3.2 Monitoring

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 pompput;
- 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 verrichtten samen met de agrariërs handmatig metingen van waterstanden in peilbuizen. We hebben niet alle variabelen in dit rapport behandeld en verwerkt.



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

We hebben intensief ingezet op meten en op continuumetingen 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 voerden we uit op de proefpercelen (3x) en referentiepercelen (3x). We deden onderzoek en verzamelden veld- en datamateriaal om verschillen/overeenkomsten/effecten te zien en te duiden.

Neerslag (NB gevalideerde radardata) en Makkink 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. 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 hebben we ter plekke gemeten met sensoren (incl. elektrische geleidbaarheid) en debietmeters (Figuur 8).

Online EC- en temperatuursensoren voor de waterkwaliteit hebben we ingezet om continu informatie te hebben over de actuele situatie, dag en nacht, in de veenweidesloot (waterpeil, temperatuur, EC). Aangezien niet elke meetlocatie in de praktijk rondom de sensor goed doorstroomd en met vers water voorzien werd, zijn deze metingen en dan met name de EC-metingen minder goed bruikbaar gebleken dan van tevoren gedacht.

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 drietal 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 en waarnemingen in 2023

Op 02-03-2023 is de defecte modemlogger bij de pompput op het proefperceel van Kees Baan vervangen voor een nieuw exemplaar.

Op 09-06-2023 is de vlotter van Kees Baan gereset. Het lijkt erop dat het tijdrelais van de vlotter na lange tijd niet in- en uitgeschakeld te zijn kunnen blijven hangen. Dit kan worden verholpen door de stroom van het tijdrelais kort uit te schakelen.

Er is een reparatie uitgevoerd aan de uitstroomleiding bij Kees Baan op 21-11-2023. Hierdoor is waarschijnlijk een deel van het uitvoerdebiet in de periode ervoor niet gemeten.

Op 21-11-2023 is de uitstroomdebietmeter bij Kees Baan ontstopt. Naast slootvuil zat er ook een levende rode rivierkreeft in.

3.3 Analyse van gegevens oktober 2021 t/m december 2023

Gegevens van vanaf januari 2021 tot en met oktober 2022 zijn verwerkt en geanalyseerd in de voorgaande tussenrapportage (versie december 2022). We hebben voor deze eindrapportage de data verwerkt tot en met december 2023.

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 bevindingen na drie jaar?

4 Resultaten

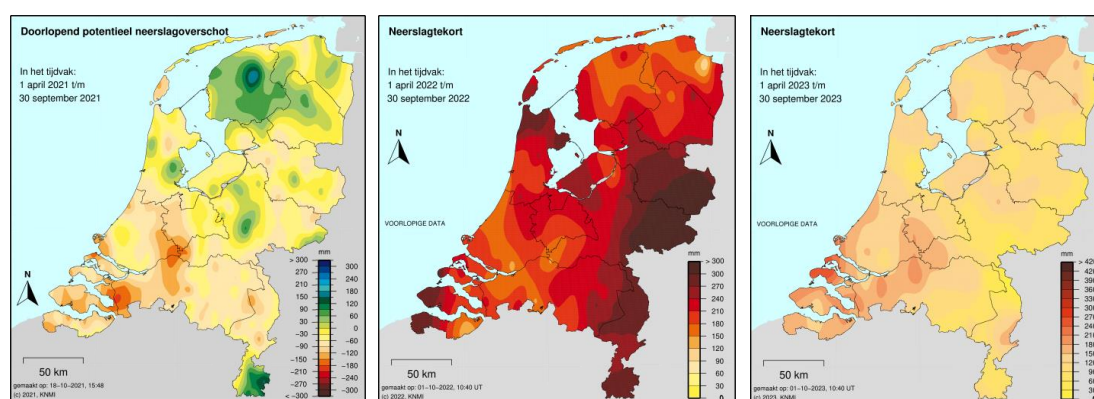
In deze sectie van resultaten worden na de meteorologie de volgende elementen behandeld:

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 Makkink referentiegewas-verdamping KNMI

Voor de neerslag en verdamping (referentiegewas-verdamping volgens Makkink; ET ref MAK) vallen we terug op metingen van en door het KNMI. Voor de neerslagmetingen hebben we gebruik gemaakt van dubbel-gevalideerde radargegevens (vlakken van 1x1 km²), specifiek voor de percelen in de regio. Voor de genoemde verdamping nemen we de gegevens over van KNMI-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, 2022 en 2023. Hierbij wordt de cumulatieve neerslag verminderd met de cumulatieve referentiegewas-verdamping volgens Makkink (ETref). Deze ETref 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 seizoen som 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), 1-4-2022 t/m 30-9-2022 (midden) en 1-4-2023 t/m 30-9-2023 (rechts). Data en kaarten: 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. 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.

Tabel 1. Jaar- en maandsommen neerslag (P) en referentiegewas-verdamping [mm] volgens Makkink (ETref) en neerslagoverschot-tekort (P-ETref) voor de drie proeflocaties. Periode januari 2021 t/m december 2023. Brongegevens van KNMI (dagsommen; gevalideerde regenradar en ETref MAK-kaarten; ruimtelijke resolutie 1x1 km²).

2021	825	-603	222	2021	844	-601	243	2021	853	-604	249
2022	817	-695	122	2022	797	-692	105	2022	833	-695	138
2023	1115	-660	456	2023	1134	-656	477	2023	1119	-660	458
Verhoef				Heikoop				Baan			
maand	P	ET ref	P-ET ref	maand	P	ET ref	P-ET ref	maand	P	ET ref	P-ET ref
1	98	-9	89	1	98	-9	88	1	105	-9	96
2	45	-22	24	2	48	-22	26	2	45	-22	23
3	34	-40	-6	3	39	-40	-1	3	31	-41	-10
4	46	-63	-17	4	39	-62	-24	4	43	-63	-20
5	97	-80	17	5	106	-79	27	5	102	-80	22
6	70	-110	-40	6	66	-110	-45	6	74	-109	-36
7	71	-91	-20	7	85	-91	-6	7	86	-91	-6
8	58	-78	-21	8	82	-78	5	8	61	-78	-17
9	25	-62	-38	9	26	-62	-36	9	31	-63	-32
10	146	-29	117	10	130	-29	100	10	140	-29	111
11	81	-12	69	11	72	-12	60	11	82	-12	69
12	54	-6	48	12	54	-6	48	12	55	-6	49
1	50	-8	43	1	56	-8	49	1	52	-8	44
2	135	-20	115	2	143	-19	124	2	141	-20	122
3	7	-55	-48	3	8	-55	-47	3	5	-55	-50
4	26	-68	-42	4	28	-68	-39	4	25	-68	-43
5	75	-86	-12	5	75	-86	-10	5	74	-87	-12
6	118	-114	4	6	120	-114	6	6	117	-114	2
7	4	-118	-114	7	3	-118	-115	7	3	-118	-115
8	16	-107	-91	8	12	-107	-95	8	25	-107	-82
9	163	-60	103	9	134	-60	73	9	167	-60	107
10	37	-35	2	10	34	-35	-0	10	33	-35	-2
11	90	-16	74	11	88	-16	72	11	92	-16	76
12	96	-7	88	12	94	-7	87	12	98	-7	91
1	143	-10	133	1	146	-10	136	1	153	-10	144
2	11	-18	-7	2	22	-18	4	2	11	-18	-7
3	115	-35	81	3	112	-35	77	3	113	-35	78
4	62	-61	1	4	62	-61	2	4	59	-61	-2
5	45	-100	-55	5	37	-100	-63	5	43	-100	-58
6	24	-133	-109	6	21	-133	-112	6	26	-133	-107
7	98	-100	-2	7	108	-99	9	7	103	-101	2
8	89	-86	3	8	102	-85	18	8	92	-86	6
9	47	-67	-20	9	43	-67	-24	9	48	-67	-19
10	205	-30	175	10	200	-30	170	10	193	-31	163
11	150	-12	137	11	153	-12	140	11	146	-12	133
12	126	-7	119	12	127	-7	120	12	131	-7	124

Gewassen en zo ook gras kan minder water gaan verdampen dan optimaal of maximaal als het gras last heeft van stress. Deze stress kan o.a. veroorzaakt worden door:

- Te hoge luchttemperatuur (te heet, hitte);
- Te weinig vocht in de wortelzone (te droge bodem, droogte);
- Te veel vocht in de wortelzone (te natte bodem).

We gaan er hier van uit dat er voor het gras geen gebrek is aan nutriënten.

In de periode maart t/m september is de ETref MAK veelal aan de hogere kant. Deze maanden bepalen grofweg het groeiseizoen van het gras (soms t/m oktober). In Tabel 2 zijn de periodesommen van deze verdamping, die ongeveer gelijk is aan de potentiële verdamping van gras (zonder stressfactoren zoals te weinig vocht, te weinig zuurstof, teveel hitte), en het neerslagtekort te zien. De verdampingsom en som van het neerslagtekort zijn samen maten voor de werkelijke verdamping van het grasland, en daarmee voor de droge-stof productie (zie ook Paragraaf 4.8; data KTC Zegveld 2021, 2022, 2023). In de tabel is goed te zien dat op seizoenbasis het neerslagtekort in 2022 duidelijk groter was dan in 2021 en 2023. In 2023 was het in april t/m juni duidelijk droger dan in 2021 en in juli t/m september duidelijk natter dan in 2021.

Tabel 2. Sommen neerslag (P) en referentiegewas-verdamping [mm] volgens Makkink (ETref) en neerslagtekort (P-ETref) voor de drie proeflocaties voor de maanden maart t/m september voor 2021 t/m 2023. Brongegevens van KNMI (dagsommen; gevalideerde regenradar en ETref MAK-kaarten; ruimtelijke resolutie 1x1 km²).

Verhoef				Heikoop				Baan			
mrt-sep	P	ET ref	P-ET ref	mrt-sep	P	ET ref	P-ET ref	mrt-sep	P	ET ref	P-ET ref
2021	401	-525	-124	2021	442	-523	-80	2021	427	-526	-99
2022	410	-610	-200	2022	381	-607	-226	2022	417	-610	-193
2023	480	-582	-102	2023	486	-580	-94	2023	484	-583	-98

Een neerslagtekort in de genoemde periode kan opgevangen worden door de nalevering van bodemvocht en capillaire opstijging uit de (klei-op) veenbodem. Dan gaat de grondwaterstand op de percelen zakken en/of de werkelijke verdamping gaat dalen ten opzichte van ETref MAK (reductie van verdamping). De wateraanvoer via de drukdrainage kan de daling van de grondwaterstand en daarmee de reductie van de ETref MAK verdamping beperken.

4.2 Werking van systemen

In de aangelegde systemen wordt water vanuit de afgedamde 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/>). In de loop van het project is na afstemming veelal erop gestuurd dat de grondwaterstand tot net bij de onderkant van aanwezige greppel(s) reikte; iets lager dus dan aanvankelijk het streven was.

4.2.1 Hoogwatersloten

In het voorjaar van 2022 zijn er nieuwe vlotters geplaatst om de slootpeilen beter (i.c. strakker) te kunnen sturen. De nieuwe vlotters zorgden bij Baan en Verhoef voor een strakker slootpeil met een schommeling van minder dan 1 cm. Korte pieken in de hoogwatersloot worden veroorzaakt door intensieve neerslag/regenbuien. Het slootpeil is gemiddeld ongeveer 20 cm hoger dan het polderpeil t.o.v. gemiddeld maaiveld. Bij Heikoop bleken de schommelingen met de nieuwe vlotter iets groter

dan bij Baan en Verhoef, maar kleiner dan met de oude vlotter. Wellicht is het tijdrelais (pomp aan, pomp uit) hiervan de oorzaak.

In Figuur 12 zijn de waterpeilen van de kavelsloten te zien voor 2021, 2022 en 2023 en vergeleken met de waterpeilen in de polderwatergangen ter plaatse (oranje lijnen voor referentieperceel, blauw voor proefperceel 'sub irr'). WSRL hanteert hogere slootpeilen in de zomer (+10 cm) dan in de winter, maar neigt steeds meer naar gelijke, jaarrond identieke slootpeilen ('streefpeilen').

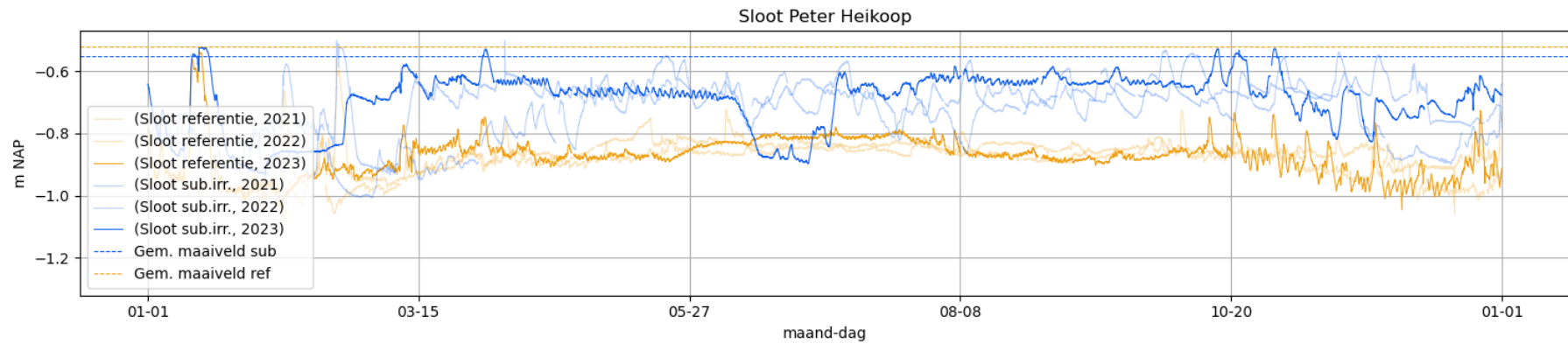
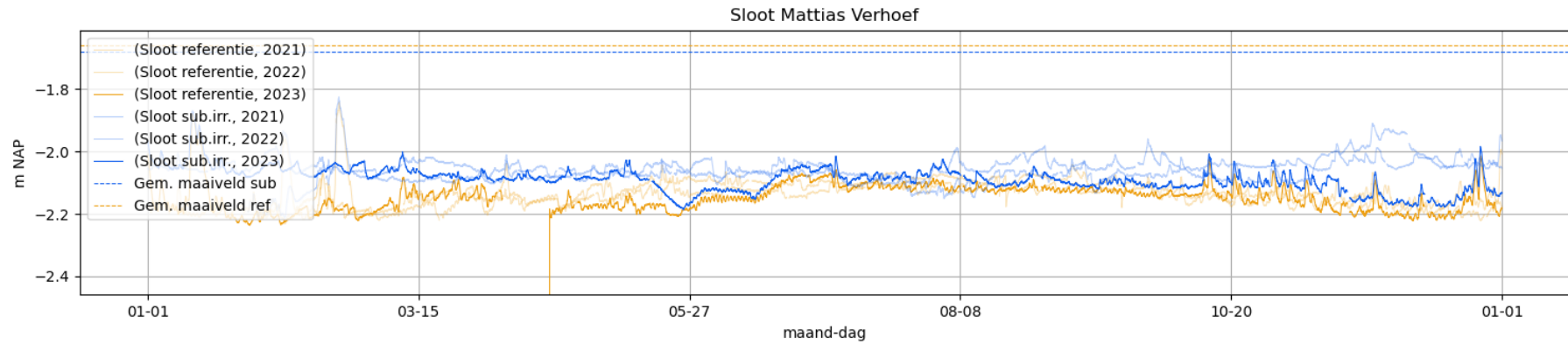
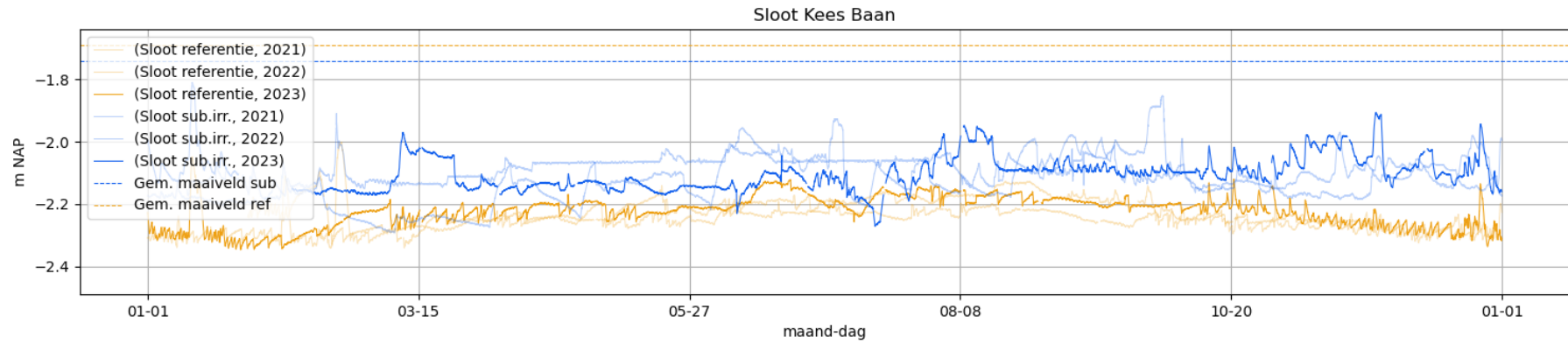
De waterpeilen bij Baan laten een duidelijk hoger slootpeil zien dan in de poldersloot (+10 à +20 cm). In het voorjaar van 2022 komt de poldersloot twee keer kort boven het streefpeil door hevige neerslag; vervolgens wordt het slootpeil 's zomers constant hoger gehouden. Bij Baan is in 2022 het verhoogde slootpeil ongeveer 25 tot 30 cm-m.v. In augustus 2022 is het tijdelijk lager geweest. In 2023 is in juni het slootpeil minder verhoogd geweest (+10 à +15 cm) dan het polderpeil. Gedurende een paar dagen in juni was het lager dan het polderpeil. De pomp die de kavelsloot moet vullen heeft tijdelijk minder gewerkt door vervuiling/verstopping.

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. In 2023 zijn de verhoogde slootpeilen tot mei vergelijkbaar met de eerdere jaren. In mei 2023 is verhoging geringer (+10 à +15 cm), om na mei verder te dalen tot +5 à +10 cm. Er was in die tijd minder wateraanvoer vanuit de eendenkooi beschikbaar om de kavelsloot aan te vullen en hogere slootpeilen te realiseren.

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 (<5 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). De slootpeilen zijn onderling gezien hier het meest verhoogd geweest, ook in 2023. Uitzondering is een periode in juni 2023, toen de pomp die de kavelsloot had moeten vullen tijdelijk minder gewerkt heeft door vervuiling/verstopping. De slootpeilverhoging is daarna weer gerealiseerd.

Samengevat:

- De wateraanvoer naar de afgedamde kavelsloten zorgde binnen de groeiseizoenen voor hogere slootpeilen bij alle agrariërs; uitzonderingen daargelaten, door tijdelijke verstoppingen van pompen;
- De wateraanvoer vanuit de eendenkooi bij Verhoef liet in de droge maanden van 2023 te wensen over: voldoende waterbeschikbaarheid van de polder naar de proefpercelen en systemen is van groot belang;
- 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 zorgden voor een meer constant (voldoende) en hoger (hoog)waterpeil vanaf voorjaar 2022.



Figuur 12. Waterpeilen [m t.o.v. NAP] sloot proefpercelen (sloot sub.irri.; in blauw) en sloot referentieperceel (in oranje) in 2021, 2022 en 2023 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

De werking van het drainagesysteem kan worden gecontroleerd door het waterpeil in de pompput te vergelijken met de waterstand (waterdruk) 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.

Bij waterafvoer van het systeem (drainage-situatie) zal de grondwaterstand hoger zijn dan de waterstand in de put. Verhoef heeft geen pomp UIT en zal kunnen draineren via de bocht die aangesloten is op de put. Afvoer kan dan plaatsvinden als het slootpeil lager is dan de grondwaterstand op het perceel en daarmee de waterstand in de put hoger is dan het slootpeil.

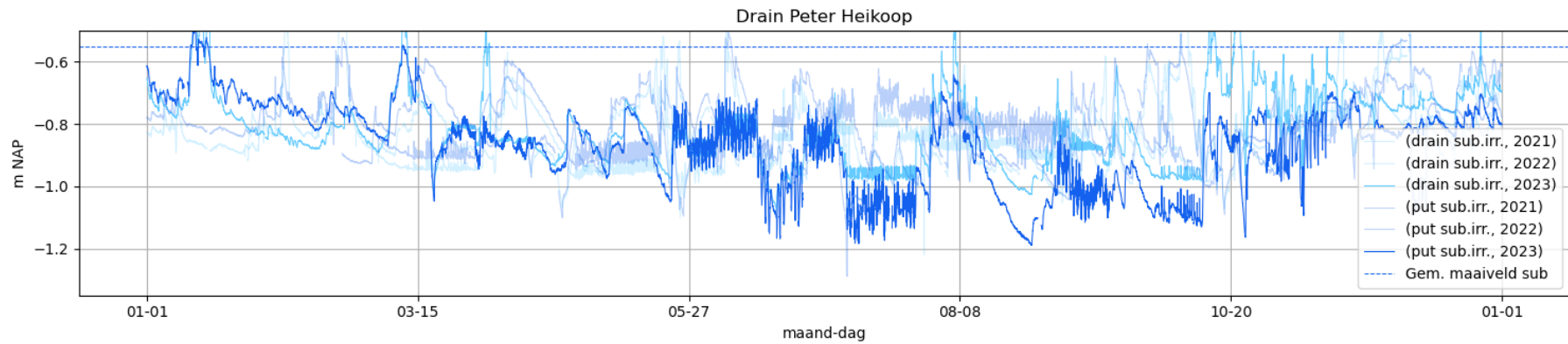
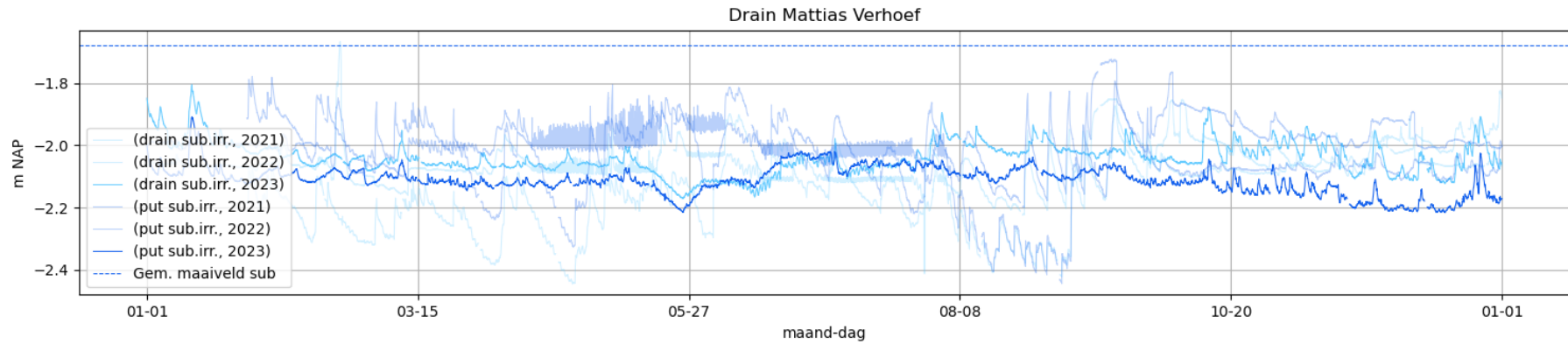
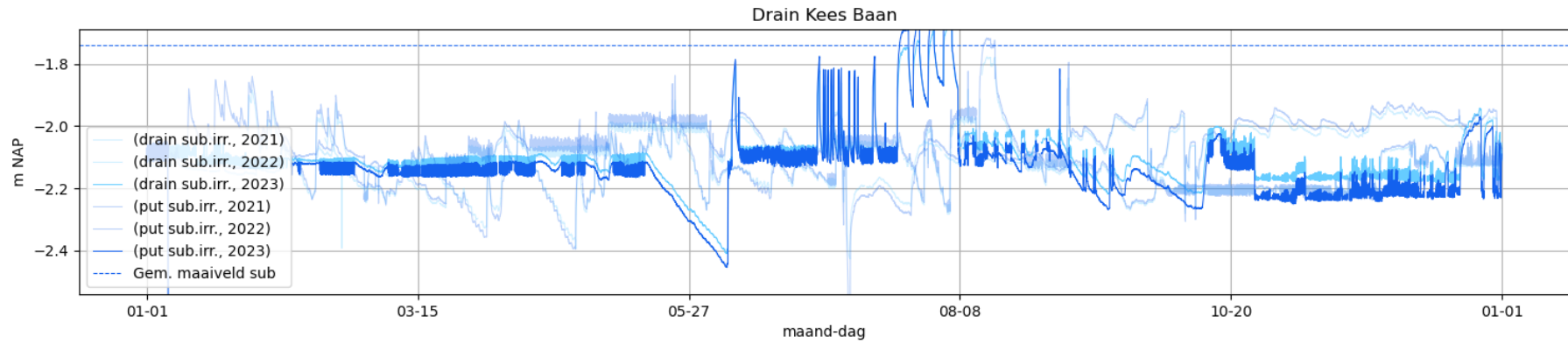
Vanuit de hoogwatersloot van de proefpercelen kan via een pomp op zonne-energie water in de pompput worden gepompt (wateriaanvoer-situatie). De instelling van de vlotter bepaalt dit welke waterstand in de put dit leidt. Vervolgens kan het water via het drainagesysteem in de (klei-op) veenbodem infiltreren. Op alle locaties laten sensoren in de pompput en in de drain hetzelfde verloop zien van de waterstand, met veelal een constante afwijking van een paar cm's. Dit betekent dat de drain in goede verbinding staat met de put. Bij Baan, 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, zo bleek reeds in 2021 en 2022.

Bij Baan in 2023 is te zien dat tot en met het voorjaar de waterstand in de put constant een paar cm's lager is dan in de drain (pomp IN stond uit), waarbij de gemeten waarden elkaar goed volgen in de tijd. Een kleine en constante afwijking duidt op een referentie-verschil in de verticale positie van de druksensoren. Nadat de grondwaterstand is gezakt is het systeem in juni aangezet en kon via de vlotter de pomp IN worden aangestuurd. Het systeem is gevuld (waterstand put boven waterstand drain), waarna de beide waterstanden elkaar weer goed volgen. In de loop van juli 2023 valt er veel neerslag. Grondwaterstanden reiken dan tot aan/boven maaiveld en zijn hoger dan de waterstand in de put (afvoer/drainage). Na een tijd met wat minder neerslag volgt een vergelijkbaar patroon zoals in het voorjaar, met af en toe respons van grondwaterstanden op neerslag. In augustus 2023 wordt nog water aangevoerd via pomp IN, vanaf september veel minder tot nul. Pomp UIT wordt gebruikt in delen van augustus en in november/december. Vanaf eind oktober 2023 is de vlotter in de put verlaagd, waarna een natte periode volgt met waterstanden in de drain hoger dan in de put.

Bij Verhoef in 2023 zijn beide patronen van de waterstand in de put en in de drain in de tijd goed vergelijkbaar en gelijkmatiger dan bij Baan en Heikoop. De tijdsverlopen vertonen minder dynamiek dan bij Baan en Heikoop. De berging van water in het proefperceel blijft in 2023 vrij constant, als combinatie van bodemvochtgehaltes en freatische grondwaterstand. In de maanden t/m mei 2023 is de drainwaterstand consequent ongeveer 5 cm hoger dan de waterstand in de put. Er is t/m april 2023 sprake van een neerslagoverschot en er is weinig wateriaanvoer naar de drainagesystemen. Eind mei wordt het droger en in juni 2023 staat de waterstand in de put een paar cm's boven die in de drain. Er vindt wateriaanvoer naar de drainage plaats, in geringe mate meer dan in april 2023, omdat de aanvoer via de eendenkooi gering is. In juli komt de regenval op gang en staat de waterstand in de drain weer hoger dan in de put, ongeveer 10 cm. Dit blijft het geval tot einde jaar.

Wanneer we de tijdlijn van de waterstand in de put bij Verhoef volgen en vergelijken met het slootpeil naast het proefperceel, dan zien we veel overeenkomsten in niveau en dynamiek. Het lijkt erop dat er interactie is tussen de sloot en de put. Het kan zijn dat er eind 2022/begin 2023 in de loop van de tijd een lekkage bij Verhoef bij de aansluiting van de afvoerbocht (90°) uit de put kan zijn ontstaan, onderin in het water. De uitstroomopening van de bocht stak boven het slootpeil uit. Een lekkage bij de afvoerbocht kan de verschillen van de waterstanden in de put en de drain tussen Verhoef aan de ene kant en Baan en Heikoop aan de andere kant verklaren. De omstandigheden qua weer (neerslag en verdamping) waren overal vergelijkbaar. Het proces van wateraanvoer naar de drainagebuizen bij Verhoef is dan mogelijk een mengvorm geworden van actief (drukdrainage, AWIS) en passief (PWIS), want er is ook een debiet gemeten van pomp IN bij Verhoef. De werking van het systeem blijft overigens goed, de drainagebuizen staan in correcte verbinding met de pompput.

Bij het proefperceel bij Heikoop in 2023 zien we veel dynamiek in de tijd in de waterstand van de pompput en de drain. Het verschil in de waterstand in de pompput en in de drain is veelal ongeveer 10 cm (in begin van 2023 iets minder), de tijdverlopen volgen elkaar goed en verschillen zijn te verklaren via het weer (met name de regenbuien) en pomp IN (aanvoer) en pomp UIT (drainage). Bij regenval kan de waterstand in de drain tijdelijk hoger zijn dan in de pompput. In maart en april daalt de waterstand in de pompput herhaaldelijk, de pomp UIT gaat in deze twee maanden aan. Bij wateraanvoer naar de drains volgen de beide waterstanden elkaar goed, het systeem reageert en werkt. De regenval in juli 2023 wordt (grotendeels) vastgehouden op het perceel. De grondwaterstanden stijgen. Pomp UIT staat niet aan in mei-juni-juli. In augustus gaat deze pomp wel aan, en de pomp IN staat uit. Daardoor zakt de waterstand in de pompput (-1,2 m+NAP) en in de drain (-1,0 m+NAP). Het verschil in waterstand neemt toe in de tijd in deze maand tot bijna 20 cm (drainage via pomp UIT). In september is het verschil in waterstand tussen pompput en drain weer ongeveer 10 cm, er is water aangevoerd via pomp IN. In de resterende maanden volgen de gemeten waterstanden elkaar goed. Het verschil blijft ongeveer 10 cm. We kunnen stellen dat het systeem naar verwachting werkt en reageert. Het lijkt erop dat de referentiehoogte van de druksensoren in de put en in de drain (m+NAP) ongeveer 10 cm kan verschillen. Als een correctie hiervoor zou worden doorgevoerd, dan liggen de metingen ongeveer op elkaar (m+NAP) in een stabiele situatie en dan is er sprake van een plausibel verhang tussen pompput en drain bij drainage en subirrigatie.



Figuur 13. Waterstanden [m t.o.v. NAP] in pompputten (donkerblauw) en in drainagesysteem (lichtblauw) verderop in het veld van proefpercelen in 2021, 2022 en 2023 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/wegzijing 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 wegzijing naar dan wel kwel vanuit de deklaag bepaalt. Wegzijing 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 2023, de lichtere die van 2022 en 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). De defecte sensoren zijn alle vervangen.

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 Baan in 2023 zien we dat de freatische grondwaterstanden tot en met mei 2023 op het referentieperceel gelijk of 5 à 10 cm hoger zijn dan op het proefperceel. Op het referentieperceel komen ze in die periode ook boven het (gemiddelde) maaiveld uit, op het proefperceel niet. Met name tijdens natte perioden in januari en maart 2023 is het referentieperceel natter. Hetzelfde geldt in oktober t/m december 2023. Pomp UIT op het proefperceel stond aan in de maanden januari t/m mei 2023. De drainerende werking van de systemen op het proefperceel, die gepaard gaan met een kleinere opbolling tussen twee drains (vlakke grondwaterspiegel), leidt tot deze waarnemingen.

Als eind mei de grondwaterstanden gedaald zijn door het neerslagtekort, dan gaat de pomp IN aan op het proefperceel. Het startmoment van de pomp had eerder gekund rond eind april 2023. Dan was de daling te voorkomen geweest. Waarschijnlijk zijn er redenen van gras- en perceelmanagement geweest (maaïen en bemesten) voor het startmoment. Daarna stijgen de grondwaterstanden, op het referentieperceel daalt de grondwaterstand verder. Het verschil wordt 30 tot 50 cm, met hogere grondwaterstanden als gevolg van subirrigatie. Medio-eind juli is er regenval en stijgen de grondwaterstanden, tot boven maaiveld op het proefperceel (geringe berging in bodemprofiel voor regenwater). Het verschil in grondwaterstand is dan 20-30 cm en blijft stabiel tot half oktober. Veel neerslag in de resterende 10 weken van 2023 doet de grondwaterstanden op beide percelen stijgen, tot vlakbij/aan/boven maaiveld. Pomp UIT gaat aan in november en december 2023, hetgeen de grondwaterstand doet verlagen met 10 cm vergeleken met het referentieperceel. Over het gehele jaar bekeken is de grondwaterstand op het proefperceel in 2023 tussen -1,8 en -2,0 m m+NAP, net zoals in 2022 en 2021. In de zomer heeft de toepassing van subirrigatie geleid tot 30 tot 50 cm hogere grondwaterstanden

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 tot 30 cm-m.v., op het referentieperceel 50 tot 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. Er is een nieuw type sensor geplaatst op de locatie, die 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 13 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.

In 2023 bij Verhoef zijn in januari de grondwaterstanden vergelijkbaar (-1,8 à -1,9 m+NAP) op referentie- en proefperceel. In februari is het droog en zakken deze beide uit tot het slootpeil. Met regenval en pomp IN aan in maart stijgen de grondwaterstanden. In april tot medio mei stijgen ze tijdens en na buien en zakken deze op het proefperceel 10 à 20 cm minder diep uit. Van medio mei tot en met juni is het droog en zijn de grondwaterstanden op het proefperceel 40 cm hoger. In de

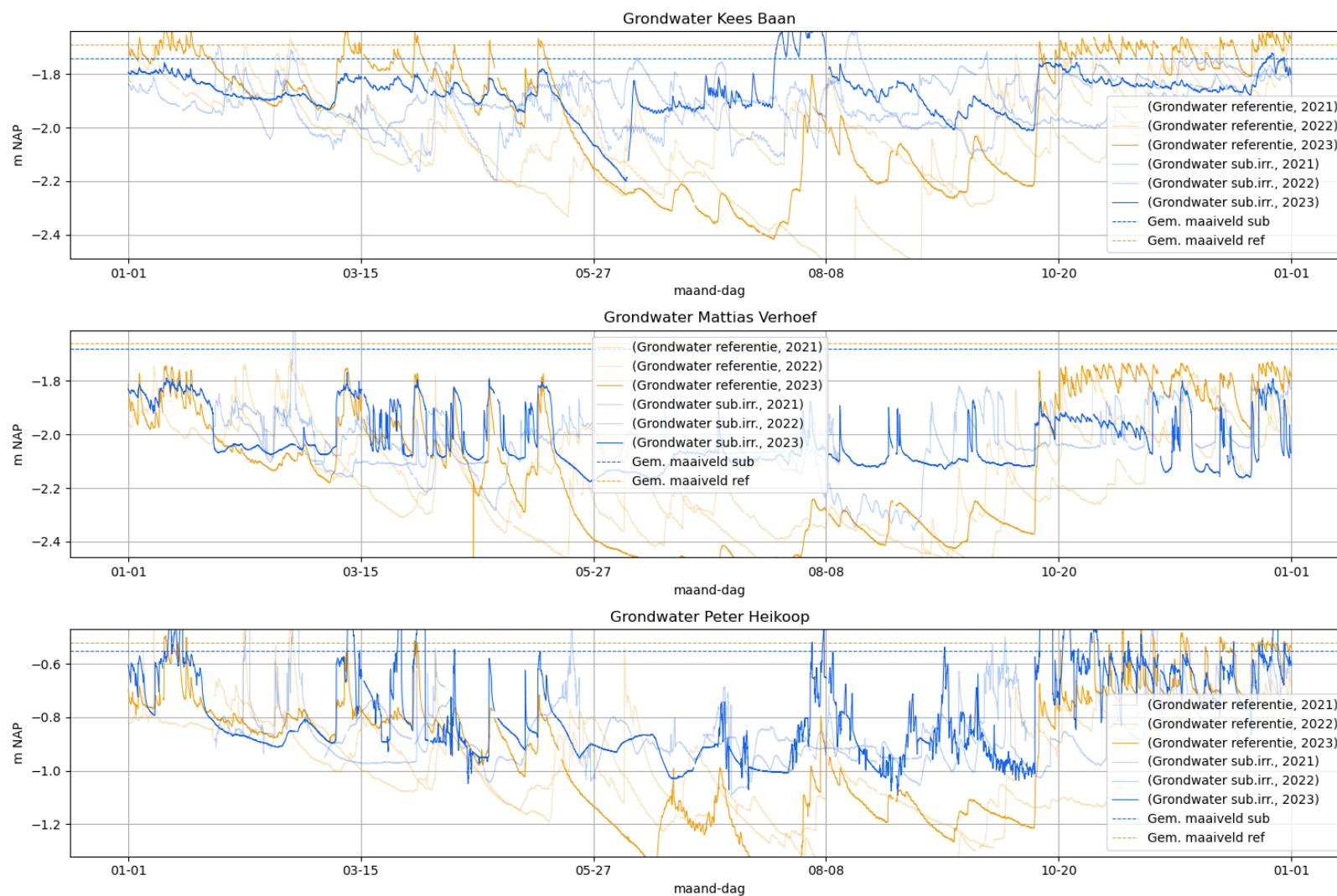
loop van juli is er meer neerslag en stijgen de grondwaterstanden op beide percelen, het proefperceel laat dan 30 cm hogere grondwaterstanden zien. De slootpeilen rond -2,1 m+NAP zijn/markeren de ondergrens van de grondwaterstanden tijdens de natte maanden. Op het proefperceel is dit het geval vanwege de mogelijke lekkage van de afvoerbocht (zie boven). Regenval zorgt voor pieken in de grondwaterstand tot en met medio oktober. Ondertussen is de berging van water in beide percelen vrijwel volledig gevuld. Het drainagesysteem in het proefperceel zorgt met de lekkende afvoerbocht ervoor dat er meer drainage/afvoer kan plaatsvinden dan voor het referentieperceel. Hierdoor zijn de grondwaterstanden op het proefperceel vanaf medio oktober lager dan op het referentieperceel.

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.

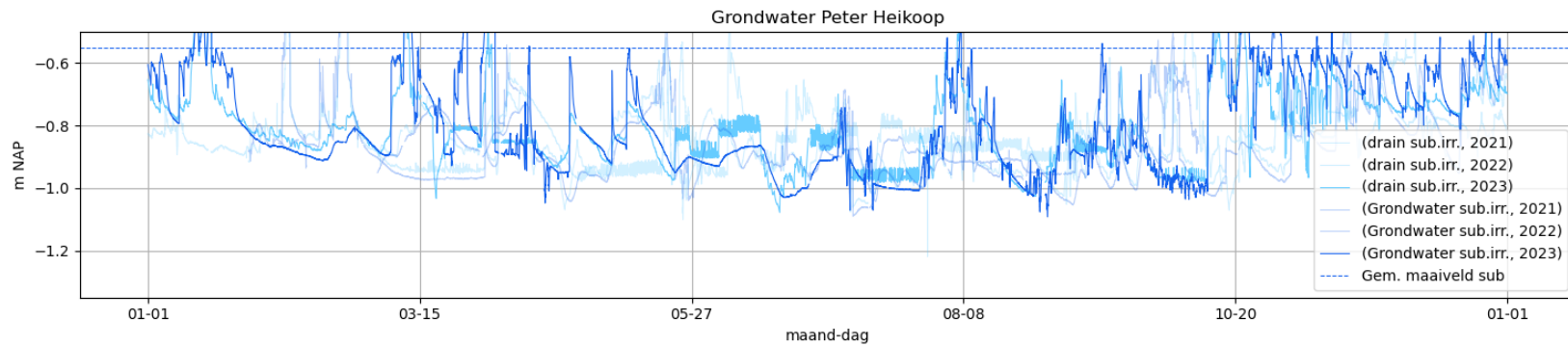
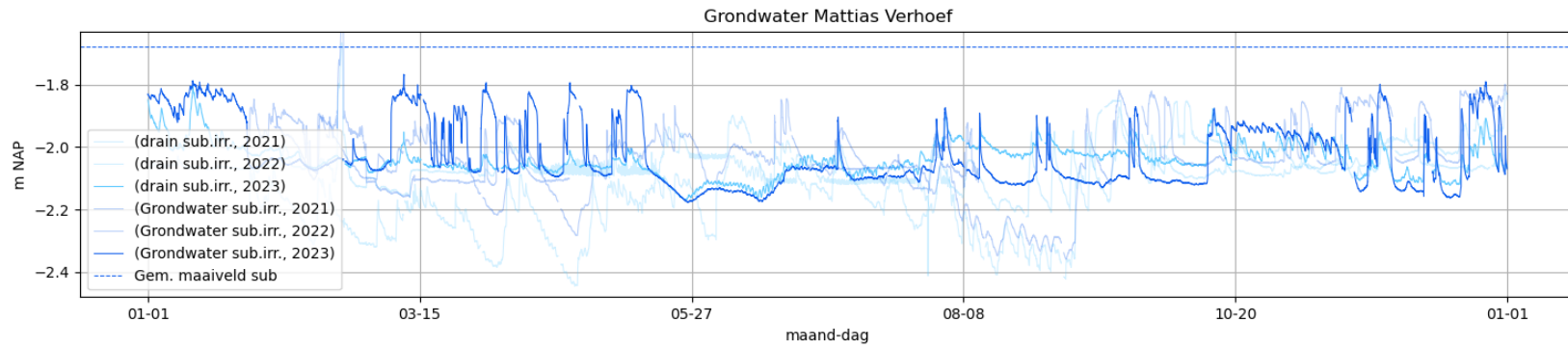
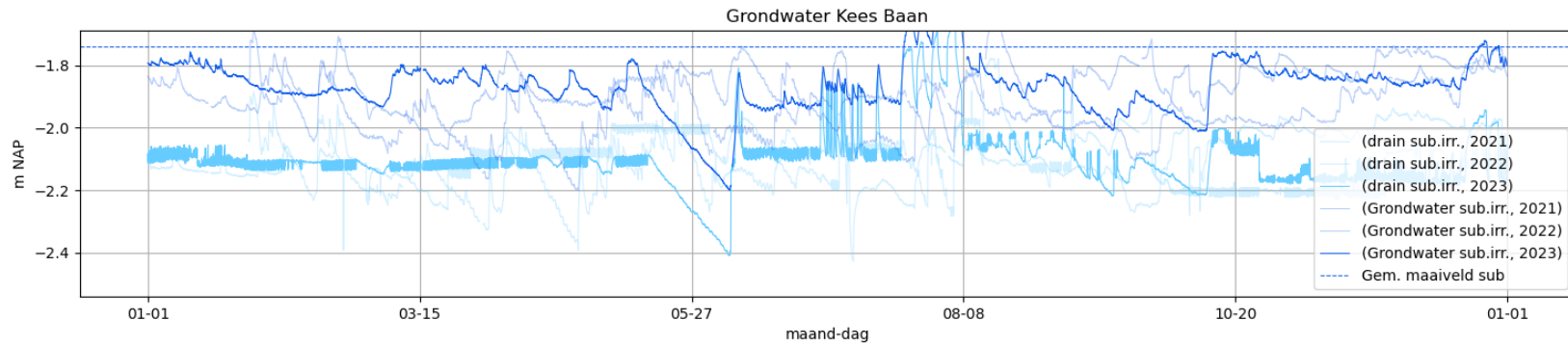
De waterstand in de drain laat zien dat deze in 2021 en in voorjaar 2022 goed overeenkomt met de gemeten grondwaterstand (verschil van 5 cm). Het waterpeil is hooggehouden vanaf maart 2022 op een niveau van 40 cm-m.v., ongeveer gelijk aan de onderkant van het kleidek op de veraarde veentussenlaag. In 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.

In 2023 bij Heikoop zijn in januari en februari de grondwaterstanden op beide percelen vergelijkbaar. Ze zakten in februari uit door het droge weer. In maart en april zijn de grondwaterstanden op het proefperceel gelijk aan of hoger dan op het referentieperceel en vertonen hogere pieken tot en met medio mei. In maart en april staat de pomp UIT aan. In mei beginnen de grondwaterstanden te dalen. Op het proefperceel zorgt wateraanvoer via pomp IN voor een minder grote daling (verschil van +40 cm) en stabilisatie op -0,9 m+NAP tot -1,0 m+NAP in juli. Het begint dan te regenen, pomp IN gaat uit en in augustus stijgen de grondwaterstanden. Pomp UIT gaat aan (zie boven). Grondwaterstanden blijven 10 à 20 cm hoger dan op het referentieperceel. In september is het droger weer, pomp IN gaat aan en pomp UIT staat uit. Grondwaterstanden zijn dan op het proefperceel 20 tot 40 cm hoger. Medio oktober stijgen de grondwaterstanden snel en hoog. Op het proefperceel tot boven maaiveld, mede omdat de berging van water in de bodem reeds gevuld was. Ook op het referentieperceel was er stijging te zien, maar minder hoog (eerst berging aanvullen). Later stonden grondwaterstanden bij herhaling tot aan maaiveld. In oktober en november stond pomp UIT aan. Vanaf november zijn de grondwaterstanden op beide percelen vergelijkbaar.

Het weer en de sturing van pomp IN en UIT in 2023 was dynamisch en grillig. In 2021 en 2022 waren de grondwaterstanden op het proefperceel bij Heikoop in het groeiseizoen -0,9 m+NAP en 30 tot >40 cm hoger dan op het referentieperceel. In 2023 waren de getallen vergelijkbaar, in juni en juli tot >40 cm hoger, maar tegen eind juli en augustus en vanaf medio oktober hoger en grilliger door neerslag.



Figuur 14. Freatische grondwaterstanden [m t.o.v. NAP] op proefpercelen (in blauw) en referentiepercelen (oranje) in 2021, 2022 en 2023 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] (donkerblauw) op proefpercelen (sub.irr.) en waterstanden in de drainbuis (lichtblauw) in 2021, 2022 en 2023 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.

In Figuur 15 staan de freatische grondwaterstanden en de waterstanden in de drain op de drie proefpercelen. Bij Baan in 2023 (ook in 2022 en 2021) is het niveauverschil in (grond)waterstand in een stabiele situatie 20 cm (waterdruk in drain consequent lager). Het verschil wordt groter als het regent (neerslagoverschot). Grondwaterstanden gaan dan omhoog, de waterstand in de drain niet of minder. Het verschil van (minimaal) 20 cm wordt veroorzaakt door de referentiehoogte van de druksensoren in het veld. Die had gelijk moeten zijn (nul cm verschil) maar is dus 20 cm. Dalingen in de tijd zijn in beide gevallen gelijkvormig. Als er wateraanvoer via pomp IN van pompput naar drains plaatsvindt, dan stijgt de waterstand in de drain en stijgt de grondwaterstand, of deze laatste blijft op peil (geen uitzakking). Als het daarbij regent, dan stijgt de grondwaterstand snel en hoog, omdat de berging in de bodem dan reeds gevuld is. Bij afvoer naar de sloot via pomp UIT uit de pompput daalt de waterstand in de put (afhankelijk van instelling vlotter), daalt de waterstand in de drain en daalt de grondwaterstand. Het tempo van deze daling wordt mede bepaald door de drainageweerstand van de klei-op-veen bodem. Deze werkt vertragend op de waterstroming. Als er meer neerslag valt dan de pomp kan afvoeren, dan wordt de grondwaterstand hoger en het verschil met de waterstand in de drain groter.

In september en oktober 2023 stonden beide pompen IN en UIT aan. De afvoerleiding van de pomp UIT was lek en is op 21-11-2023 gerepareerd. Het aangevoerde debiet IN is gemeten, de gemeten afvoer UIT was nul (incorrect). Dit verklaart de daling van de lijnen in de drogere maand september, omdat het debiet van pomp IN (deels) werd uitgedompt door pomp UIT. Daarna begint het te regenen en stijgen de waterstanden. De vlotterstand in de pompput is vrij constant in de tijd. Deze werd eind oktober verlaagd met ongeveer 10 cm, met een verlaging van de waterstand in de drain tot gevolg.

Bij Verhoef in 2023 is de grondwaterstand vergelijkbaar met de waterstand in de drain, in stabiele situaties. Net zoals bij Baan is de grondwaterstand hoger tijdens en na regenbuien. In januari is het nat en in februari vrij droog. Er is een overgang vanaf eind juli/begin augustus: nadien is de waterstand in de drain ongeveer 10 cm hoger dan de grondwaterstand, behalve tijdens en na natte dagen met neerslag. Verhoef heeft geen pomp UIT, maar wel mogelijk last van lekkage van de afvoerbocht (zie boven). Het moment waarop deze lekkage kan zijn ontstaan is eind juli/begin augustus 2023. In Figuur 15 is te zien dat omstreeks die periode de grondwaterstand lager wordt dan de waterstand in de drain, terwijl dat eerder niet het geval was. Het 'basisniveau' van de grondwaterstand lijkt ook op het slootpeil. De pomp IN staat aan in die tijd, water wordt aangevoerd, maar lekt deels weg. Daarnaast is het slootpeil 5 à 10 cm lager dan in 2022 gerealiseerd is. Er komt netto te weinig water in het drainagesysteem om de grondwaterstand voldoende te verhogen. Die wordt pas hoger als het voldoende veel regent. Vanaf medio oktober is dat goed te zien, waarbij de grondwaterstand wel weer zakt als het een droge periode betreft.

Bij Heikoop in 2023 zitten de beide waterstanden 5 à 10 cm van elkaar verwijderd in januari (nat) en februari (droger) en wisselend is de een hoger (januari), dan weer de ander (februari). Vanaf maart is de grondwaterstand gelijk aan of hoger dan de waterstand in de drain. De pomp UIT staat aan in maart en april. Daarna staat die uit. In mei t/m juni staat de pomp IN aan. In augustus staat de pomp UIT weer aan, in september de pomp IN. De pomp UIT staat daarna weer aan in oktober en november. Na een daling van de waterstanden in mei staat de waterstand in de drain lager dan de grondwaterstand. De vlotter in de pompput wordt in die tijd een paar keer versteld. De waterstand in de drain in juni daalt. Dit is een maand met weinig neerslag en een hoge referentiegewas-verdamping. In die periode lijkt de vlottersturing niet goed te functioneren en/of is de aanvoercapaciteit naar de pompput te gering om de watervraag bij te benen. Begin juli lijkt het systeem weer goed te werken. Als het begint te regenen stijgt de grondwaterstand. Daarna wordt de vlotterstand verlaagd, de grondwaterstand volgt. Bij neerslag eind juli/begin augustus schieten de grondwaterstand en de waterstand in de drain gelijkelijk omhoog. Het patroon van beide

meetreeksen blijft vrijwel identiek tot begin oktober. De regenval die dan volgt, zorgt voor hogere grondwaterstanden dan de waterstand in de drain tot eind 2023.

De metingen en vergelijking van beide reeksen is nuttig om de reactie en sturing van het DD-systeem op het grondwater op het perceel te analyseren. De waterstand in de drain is zeer behulpzaam inzake analyse van sturing, werking en weerstand van het bodemsysteem in geval van subirrigatie, dan wel drainage. Het systeem werkt meestal naar behoren en zoals verwacht.

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 grondwaterstroming 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 de zandlaag 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 2023, de lichtere die van 2022 en 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). Deze zijn vervangen.

Bij Baan is er in de reguliere situatie op het referentieperceel sprake van wegzijging tot een soms (zeer)lichte kwel, beter gezegd een 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 grote delen van de zomer als het niet erg droog is. In droge tijden kan er (zeer) lichte kwel optreden. *De proef zorgt voor een situatie met meer en ook met een permanente wegzijging naar de ondergrond.* In januari-februari 2022 en ook in de natte maanden van 2023 is de wegzijging op het referentieperceel groter dan op het proefperceel, omdat in die periode de freatische grondwaterstanden hoger zijn dan op het proefperceel. *Dit heeft te maken met de drainerende en nivellerende (vlakkere grondwaterspiegel op perceel als geheel) werking van het drainagesysteem.* Vanaf medio maart 2022 en vanaf medio februari 2023 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 beide sprake van kwel op alle percelen, behalve op de proefpercelen als het zeer nat is (hoge freatische grondwaterstanden). Dan verandert de kwel tijdelijk via neutraal naar een situatie met wegzijging.

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 (o.a. juli 2022 en mei/juni 2023).

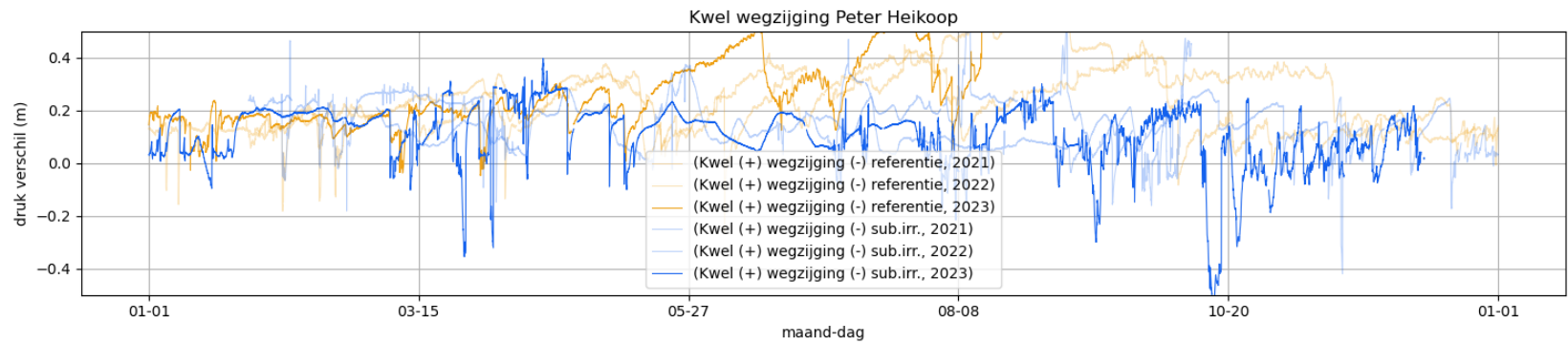
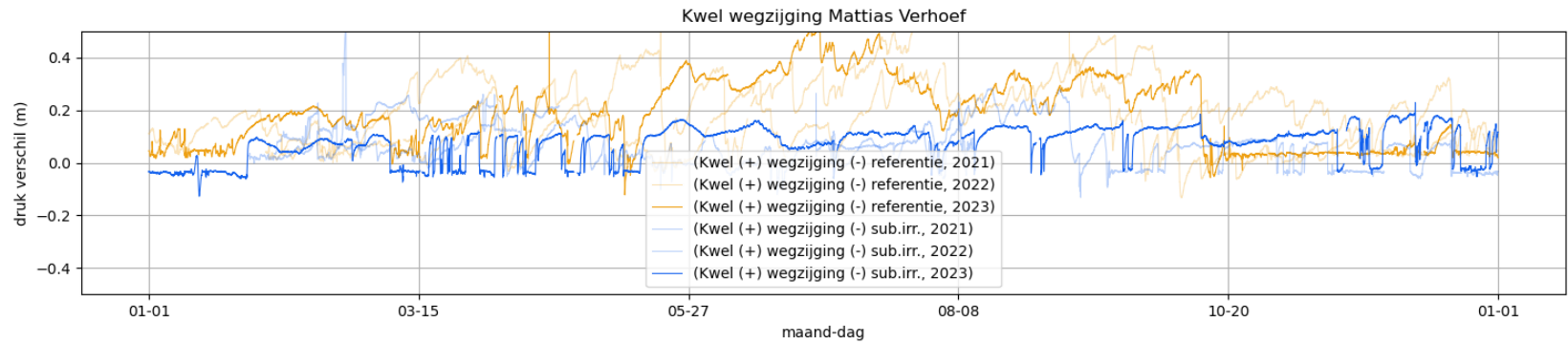
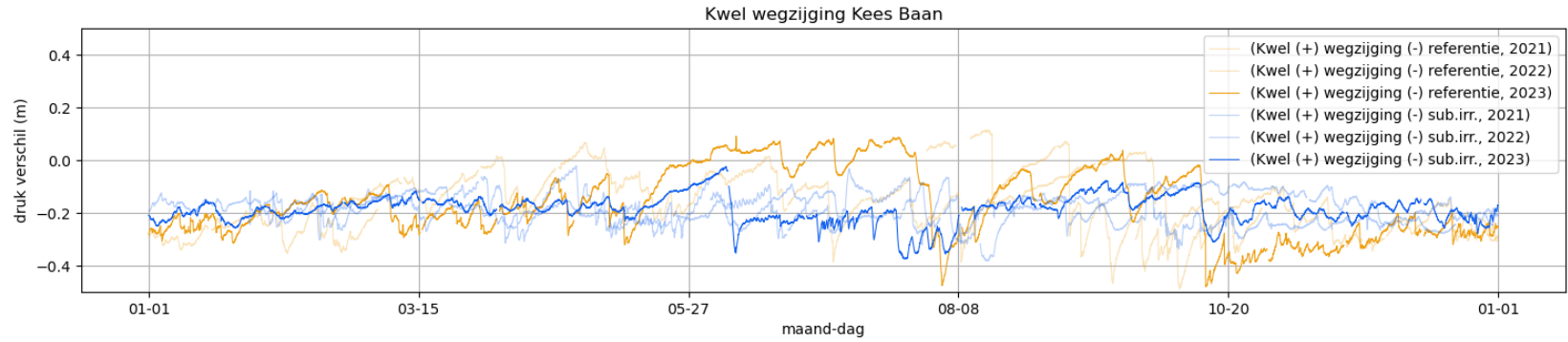
Bij Heikoop is dat laatste ook het geval, maar in mindere mate en met een meer grillig verloop in de tijd. De beschikbare metingen laten zien dat van medio juni tot medio oktober 2022 de kweldruk op het proefperceel minder is dan op het referentieperceel, met name in augustus 2022, tot de regenval in september 2022. In 2023 is af en toe in het voorjaar sprake van wegzijging uit het proefperceel, in sterkere mate eind augustus en in oktober 2023. NB: op het referentieperceel is een druksensor uitgevallen in augustus 2023 en na overleg niet vervangen.

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.

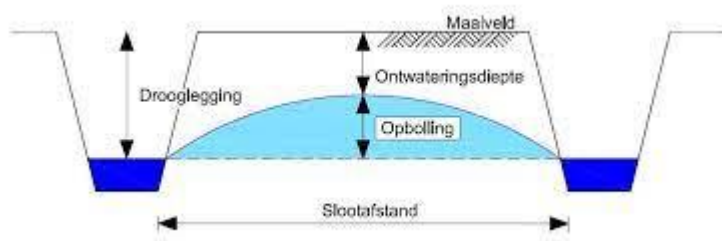
Samengevat zijn de resultaten inzake de effecten op de freatische grondwaterstand en op kwel/wegzijing als volgt:

- 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. Op één na zijn alle defecte druksensoren vervangen. De analyse heeft een beeld opgeleverd dat vrijwel compleet is.
- 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. Een groot neerslagoverschot levert dezelfde effecten op als subirrigatie, omdat de freatische grondwaterstand in beide gevallen wordt verhoogd en in mindere mate tot niet dit het geval is bij de stijghoogte in de zandlaag onder het (klei-op) veenpakket.

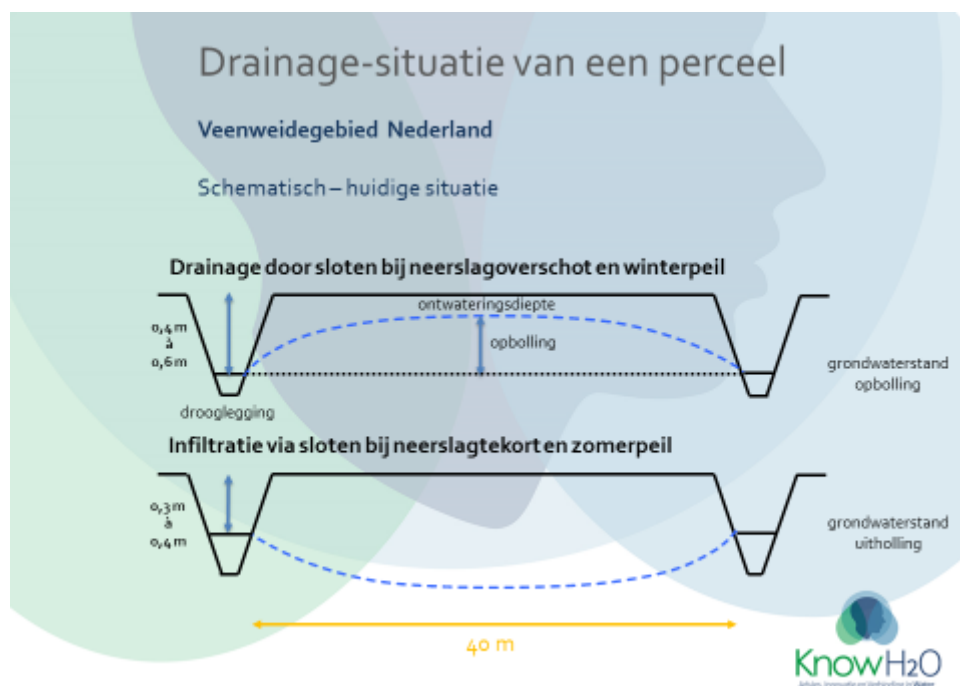


Figuur 16. Drukverschillen tussen freatische grondwaterstanden en stijghoogte onderin de deklaag [m] op proefpercelen (sub.irr.; in blauw) en referentiepercelen (referentie; in oranje) in 2021, 2022 en 2023 bij Baan, Verhoef en Heikoop. Op de X-as staan de maanden-dagen van het jaar (03-15 staat voor 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 (begrippen 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 intree weerstand 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; begrippen: NHV, 2002).

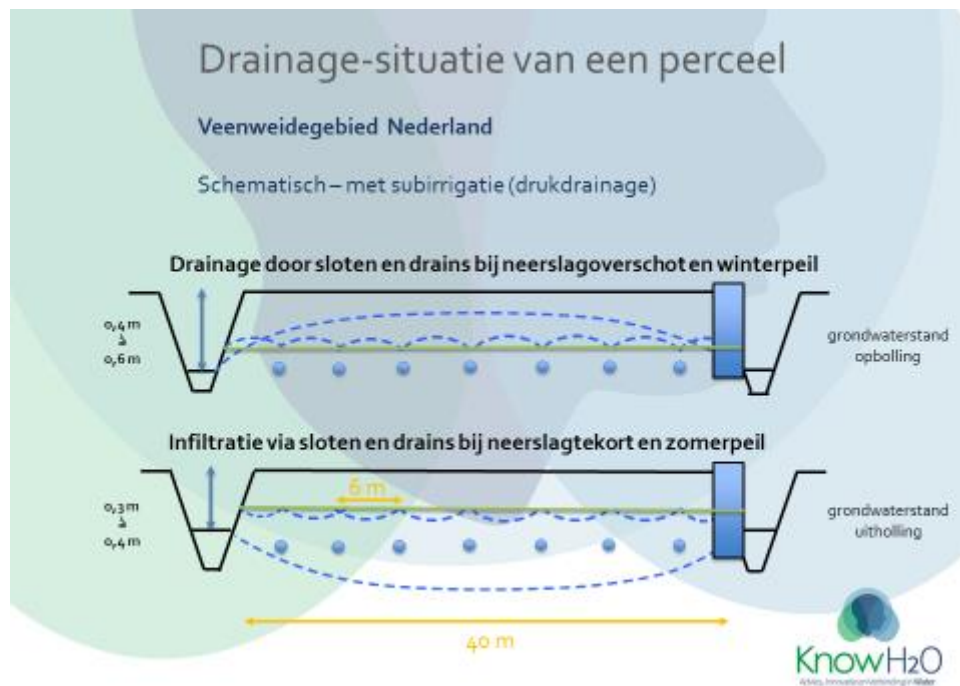


Figuur 18. Standaard-schematische situatie van een dwarsdoorsnede van een veenweideperceel van 40 m breed met bolle (afvoersituatie) en holle grondwaterstand (aanvoersituatie).

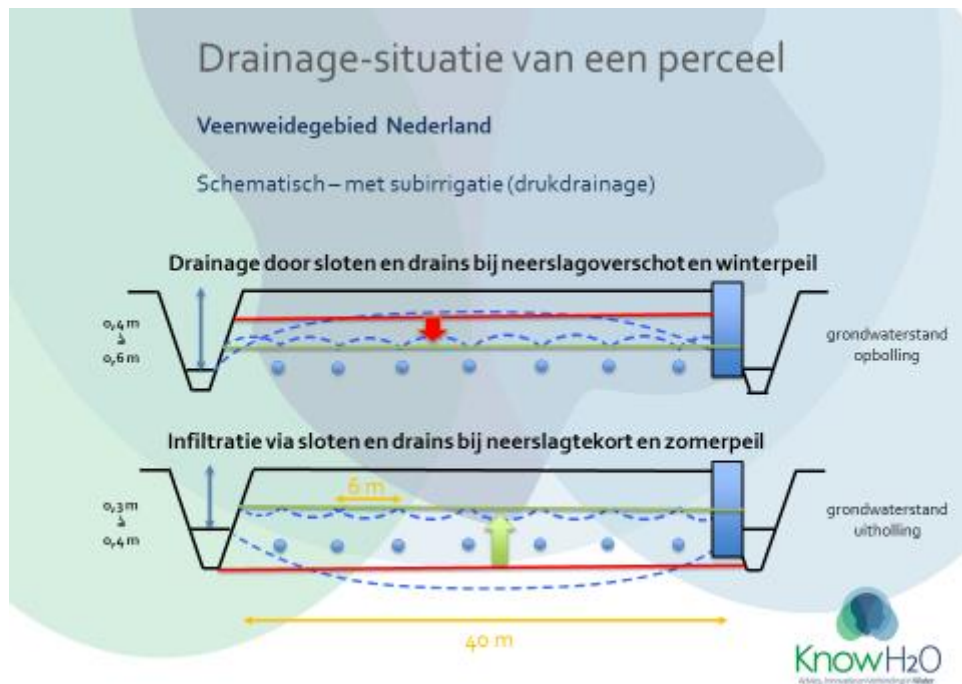
Wanneer een systeem van regelbare drainage met subirrigatie wordt aangelegd, dan verandert de drainage-situatie en de wateraanvoer-situatie. Er treedt een andere opbolling en uitholling op. Figuur 19 en 20 tonen dit, wederom op een schematische manier voor een standaard-situatie. We zien een ingestelde 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 we duidelijk maken dat de drainage-situatie mogelijk kan leiden tot gemiddeld *lagere* grondwaterstanden op proefpercelen (zie metingen boven) dan op de referentiepercelen, als de waterstand in de pompput niet hoog genoeg wordt ingesteld. *De drainerende werking neemt anders toe, met als gevolg een drogere situatie op het gedraineerde perceel. Dan werkt het systeem op de proefpercelen averechts als het gaat over vernatting en reductie van de bodembeweging.*

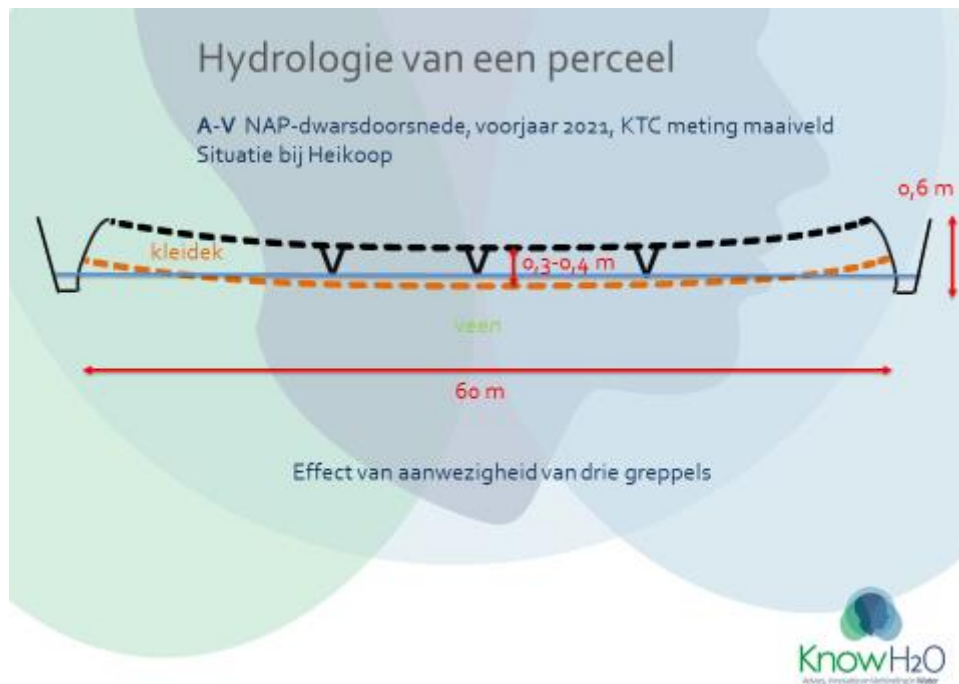


Figuur 19. Standaard-schematische situatie van een dwarsdoorsnede van een veenweideperceel van 40 m breed met drainagebuizen op 6 m afstand en bijbehorende bolle (afvoersituatie) en holle grondwaterstand (aanvoersituatie). Situatie met regelbaar drainagesysteem met subirrigatie. De groene lijn duidt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



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 greppelliging 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 slooppeil 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 krimpscheuren 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.

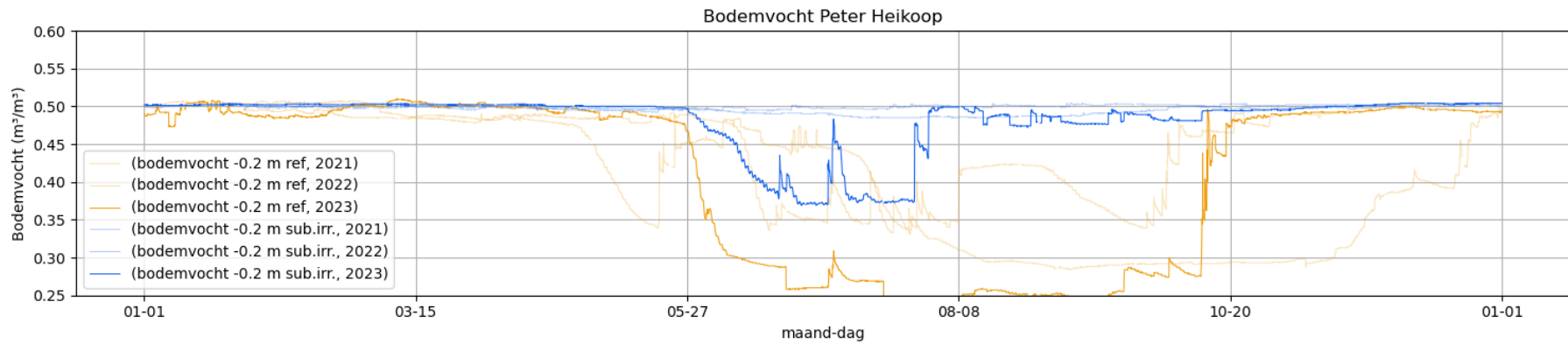
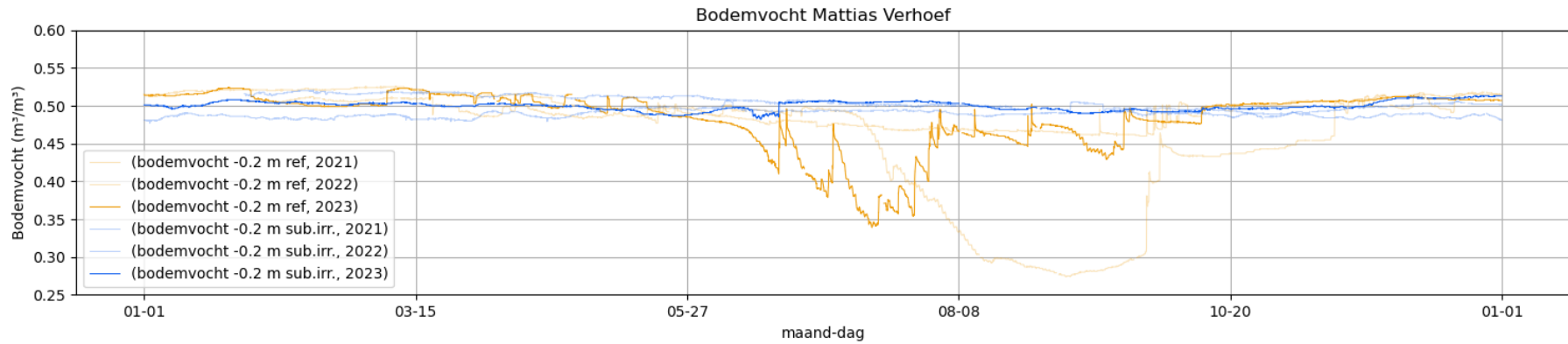
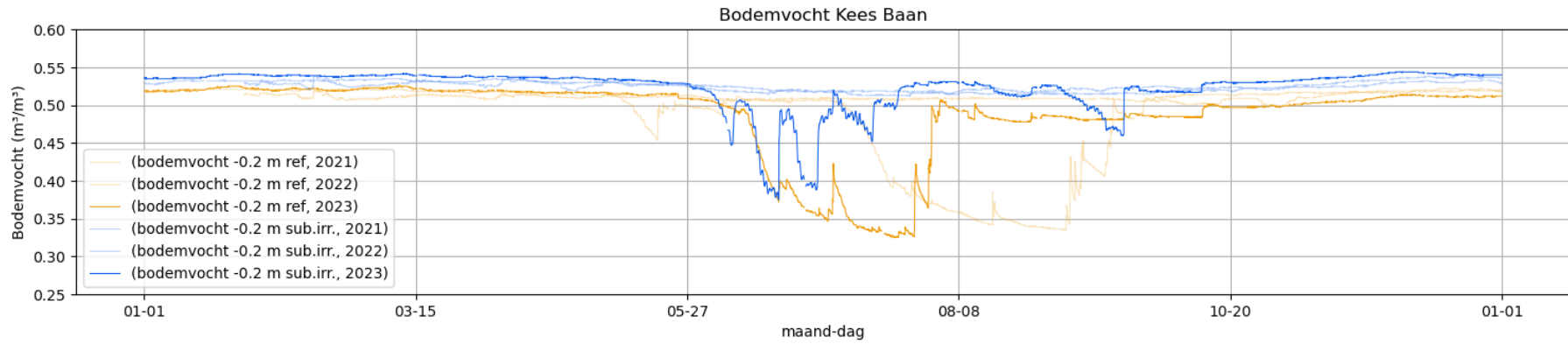
In 2023 laten de meeste sensoren op alle locaties een dalend bodemvochtgehalte op 0,2 m-m.v. zien vanaf eind mei. Bij Baan zien we dat het referentieperceel 'droog' blijft op deze diepte tot eind juli. Het proefperceel is natter en laat zien wanneer de pomp IN aan stond en het vochtgehalte is eerder op peil dan het referentieperceel. Ook laat het proefperceel een sterkere respons zien op neerslag, omdat de grond vochtiger is beter water opneemt en omdat er al meer water in de bodem dit door de aanvoer van water. Bij Verhoef zien we in 2023 dat het bodemvochtgehalte op peil blijft, terwijl het referentieperceel droger wordt. Bij Heikoop zakt het vochtgehalte diep weg op het referentieperceel. Dat komt pas weer omhoog in september/oktober. Het proefperceel zakt minder uit qua bodemvochtgehalte, maar wordt wel lager in de tijd (niet op peil). Het gaat eerder omhoog, vanaf eind juli. Bij Heikoop is er sprake van krimpscheuren in het kleidek bij droog weer, dat kan de metingen op 0,2 m-m.v. parten spelen.

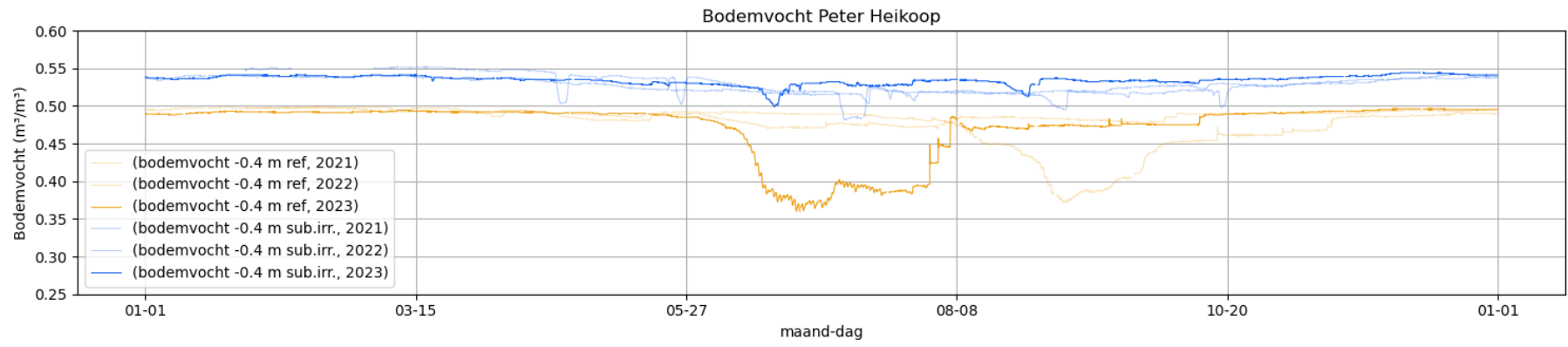
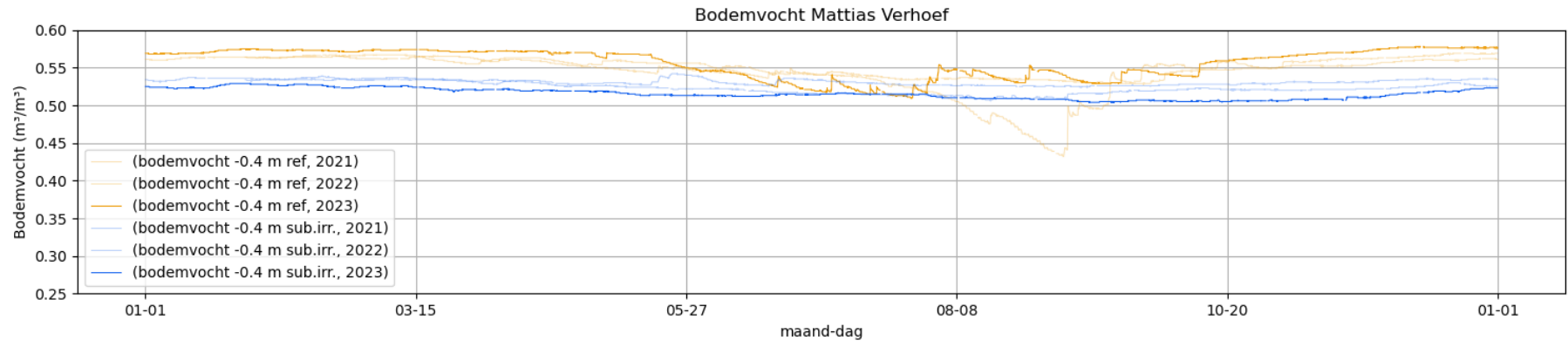
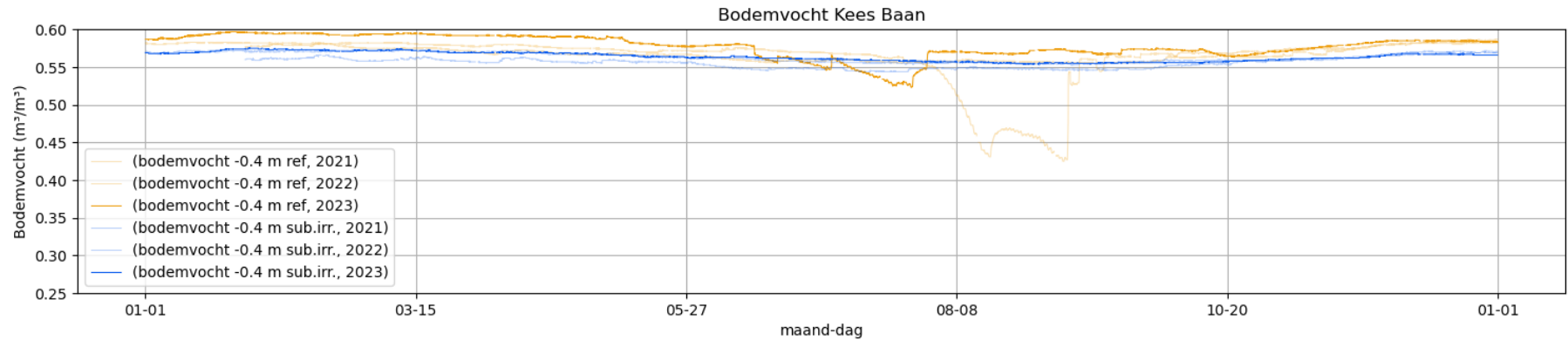
Op een diepte van 0,4 en 0,6 m-m.v. zijn alle sensorwaarden op alle plekken vrij constant in de tijd in 2021 en 2022. In die delen van het bodemprofiel is de grond vochtig gebleven op alle proefpercelen.

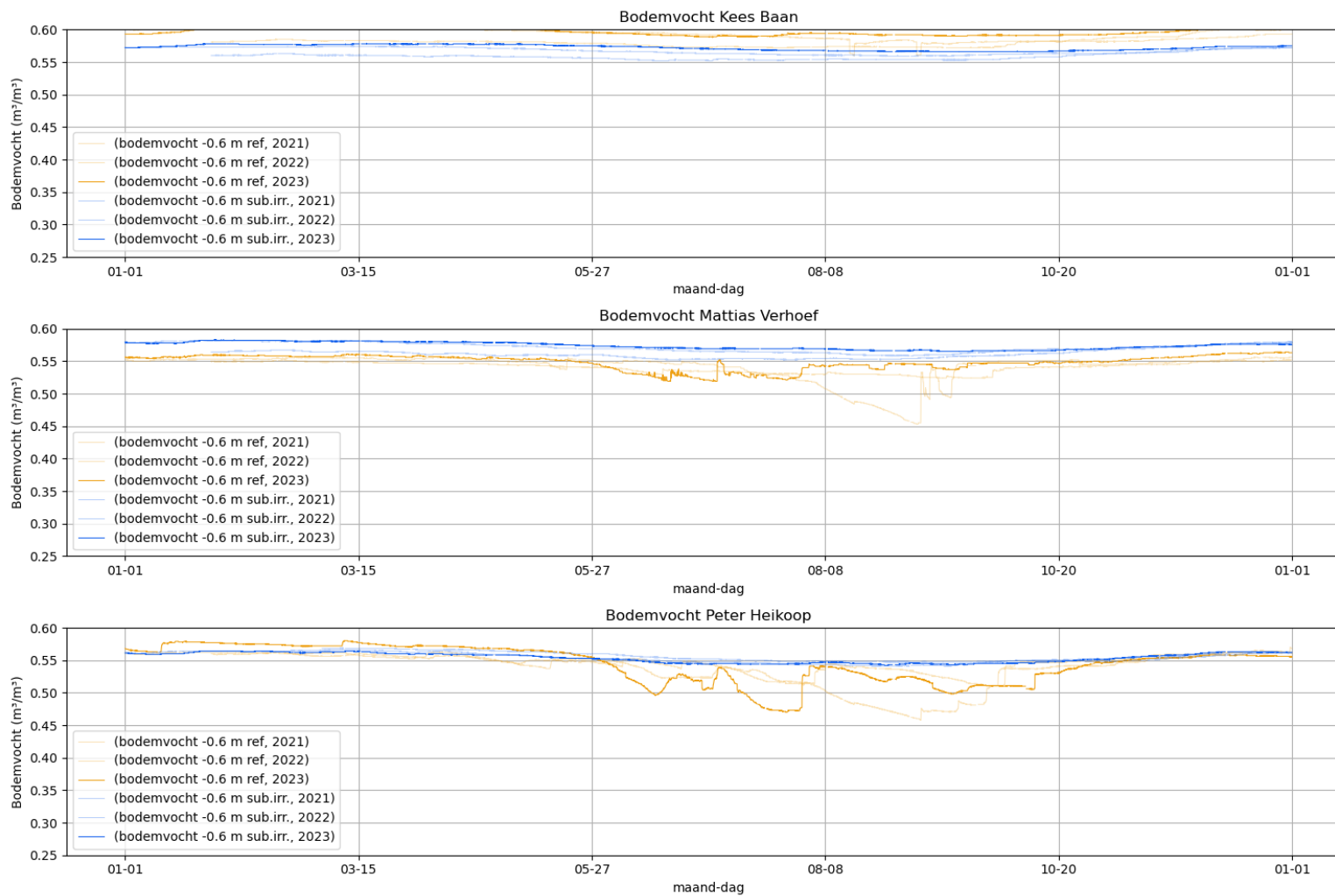
Bij Heikoop zien we op 0,6 m-m.v. dat de vochtgehalten tijdelijk lager (minus 5%) zijn in 2021 op het referentieperceel. Op 0,4 m-m.v. zien we op het proefperceel bij Heikoop in 2021 ook tijdelijk lagere waarden (minus 5%), een patroon dat we ook terugzien in de grondwaterstanden aldaar. Sturing en regeling van de waterstand in de pompput zijn hier de oorzaak van (zie Figuur 15, waterstand in drain, juli 2021). In 2023 laten de metingen op 0,4 m-m.v. op het referentieperceel dalingen zien, terwijl die op het proefperceel op peil blijven. Op 0,6 m-m.v. is de daling op het referentieperceel licht. Bij Verhoef blijven alle metingen met de sensoren op het proefperceel op peil, het referentieperceel laat lichte dalingen zien. Bij Baan is dat ook zo en blijft ook op het referentieperceel op 0,6 m-m.v. het bodemvochtgehalte op peil.

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, met krimpscheuren in droge tijden. 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 veel 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. Bij Heikoop zien we voor de sensor op met name 0,2 m-m.v. op het proefperceel wat dalingen tijdens droog weer. Dit kan met de aard van het kleidek te maken hebben.

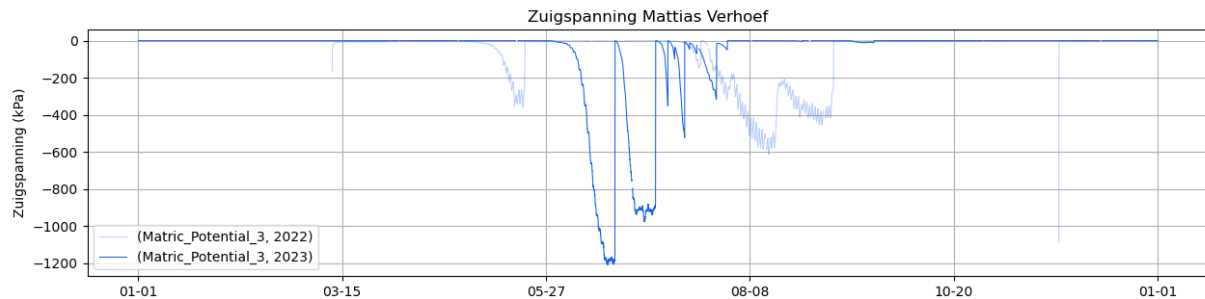






Figuur 22-1, 22-2 en 22-3. Gemeten bodemvochtgehalte [vol.%] in de tijd op drie dieptes (0,2, 0,4 en 0,6m) in het bodemprofiel op proefpercelen (sub.irr.; in blauw) en referentiepercelen (ref.; in oranje) in 2021 en 2022 bij Baan, Verhoef en Heikoop. Op de X-as staan de maanden-dagen van het jaar (03-15 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 0,15 m-m.v., laat het volgende zien.



Figuur 23. Gemeten drukhoogte (onderdruk/zuigspanning: min-teken Y-as) van bodemvocht op een diepte van 0,15 m-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 0,15 m-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. In 2023 trad eerder een daling op en een veel grotere daling in totaal. Effecten van neerslag waren er ook duidelijk, met herstel van de lage zuigspanning. We verwachten dat in 2023 het grasland in de maand juni duidelijk stress heeft gehad (invloed op tweede snede gras).

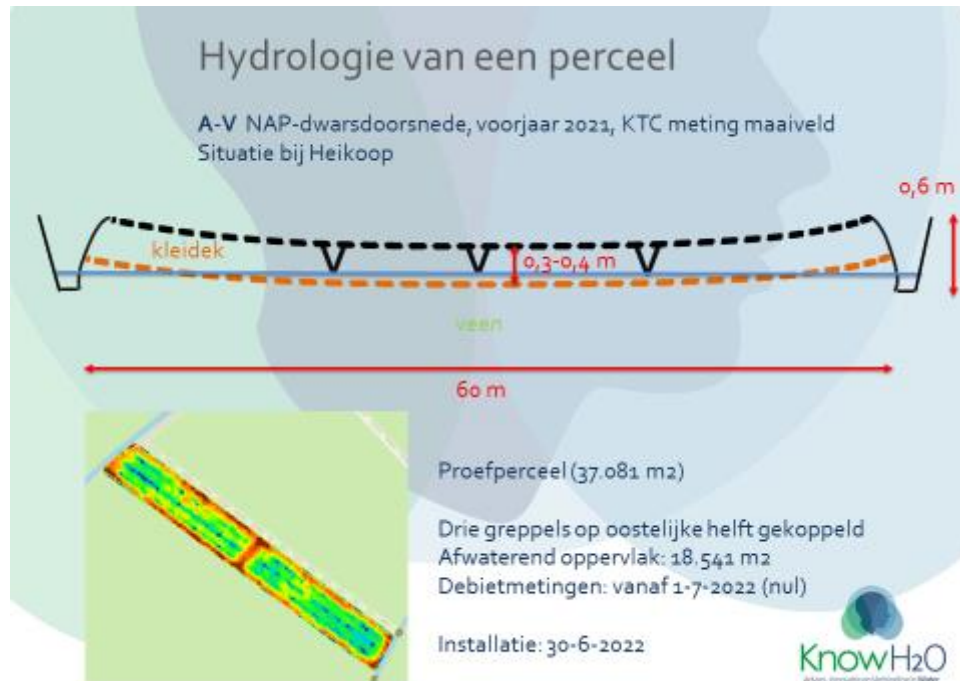
Samengevat zijn de resultaten inzake effecten op bodemvochtgehalte als volgt:

- De meeste metingen laten constant vochtige/natte omstandigheden zien op alle meetdiepten op alle proefpercelen in 2021 en 2022. In juni en juli 2023 zakten ondiepe bodemvochtgehalten op 0,2 en deels ook op 0,4 m-m.v., waarbij het positieve en verhogende effect van wateraanvoer op de proefpercelen duidelijk gemeten is.
- 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 4.8). In 2023 is met name de periode droger, waarin de tweede snede gegroeid is (en een deel van de derde). Een lagere verdamping zou het gevolg kunnen zijn, met dientengevolge een lagere droge-stof productie.
- Meting van de drukhoogte in de wortelzone geeft een beter tot 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

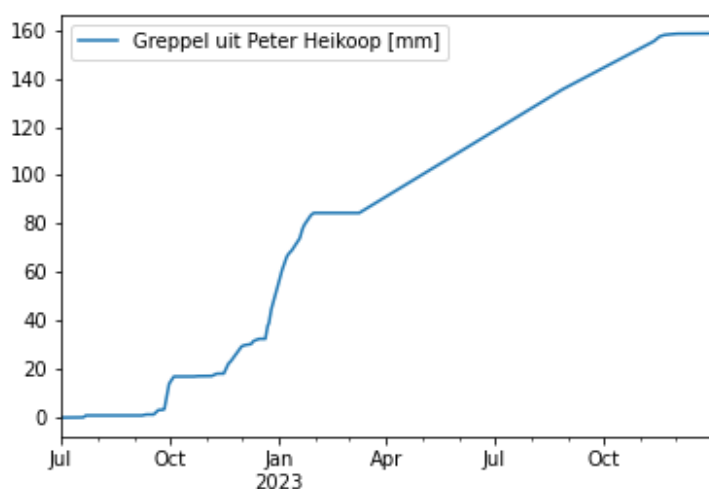
greppels is deels kwantitatief bekend dat ze een belangrijk deel van de totale perceelafvoer op veen- en kleigronden kunnen verzorgen (o.a. Nijboer, 1986; Thunnissen, 1987; Van den Eertwegh en Van Beek, 2004; Van der Salm et al., 2006; projecten DOVE-zand, DOVE-veen, DOVE-klei). Dat kan ook het geval 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 belemmerd wordt door hoge(re) slootpeilen, hebben we op 30-6-2022 een debietmeter verbonden met drie gekoppelde greppels op het proefperceel bij Heikoop (oostelijke helft Figuur 24; afwaterend oppervlak 1,85 ha). 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).

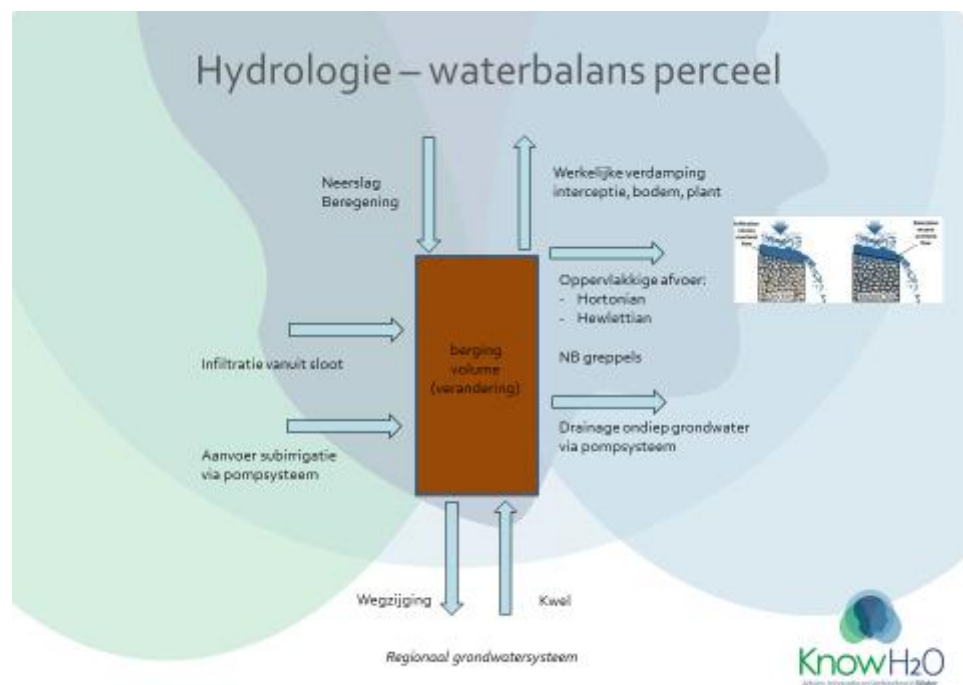
In 2023 komt er in totaal ongeveer 120 mm via de greppel tot afvoer, waarvan bijna 80 mm in de periode half maart t/m oktober 2023. *De greppel speelt hiermee dus een belangrijke rol in het afvoerproces van het perceel. Dit wisten we al, maar deze metingen geven een kwantificering daarvan.* Als we naar de neerslagcijfers kijken bij Heikoop, dan zal er vooral in de maanden juli, augustus en oktober 2023 greppelafvoer zijn geweest, tijdens en vlak na regenbuien. De freatische grondwaterstanden waren bij of aan maaiveld in de perioden begin augustus, eind september/begin oktober en eind oktober.



Figuur 25. Greppelafvoer [mm] bij oostelijke helft proefperceel Heikoop (1-7-2022 t/m 31-12-2023). Drie greppels op de oostelijke helft zijn onderling verbonden met buizen en via debietmeter naar polderwater geleid aan kop oostzijde. Meetperiode startte op 1-7-2022. Er zijn geen dagwaarden van 1-3-2023 t/m 1-11-2023. Daarom is die periode lineair geïnterpoleerd (77 mm afvoer).

4.5 Waterbalans proefperceel

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 tijdperioden, 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 (dubbel-gevalideerde radar data; KNMI), een schatting van de werkelijke verdamping van gras (ETref MAK; KNMI), pomp debiet IN (subirrigatie), pomp debiet UIT (drainage), greppelafvoer Heikoop (sinds 1-7-2022), verandering waterberging in bodem (via gemeten grondwaterstanden en bodemvochtgehalten) en de berekende sluitpost. We kennen nl. 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 (a,b,c) staan de bemeten balanst termen voor de proefpercelen gesommeerd voor verschillende perioden binnen het tijdvak januari 2021 tot en met december 2023.

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 neerslag (jaarsom 870-890 mm) varieert 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 ook dat het in 2023 erg nat was, met name in het vierde kwartaal.

De verdamping (ETref MAK; jaarsom 650 mm) is vrijwel identiek bij alle proefpercelen. Deze varieert niet sterk in de ruimte binnen de regio, wel in de tijd. In de periode april-september 2021 is deze met 485 mm duidelijk lager dan in dezelfde periode in 2022 en 2023 (550 mm).

We zien het effect van droge maanden in 2022 en 2023 (minder neerslag en meer verdamping) terug in pompdebieten IN. Er is een duidelijk hoger pomp debiet IN (i.c. de watervraag) van de proefpercelen bij droog weer, met als positief en beoogd effect hogere bodemvochtgehalten en hogere grondwaterstanden.

De afvoer van water kan bij Baan en Heikoop worden gestuurd via de pompdebieten UIT. Verhoef heeft geen pomp UIT. Verder kan het zijn dat bij alle proefpercelen de afvoerbocht uit de pompput gefungeerd heeft als afvoer naar de sloot (niet afgesproken; normaal staat deze omhoog/dicht). De eventuele lekkage bij de afvoerbocht bij Verhoef is al genoemd (zie boven). Fouten in de balans die hierdoor veroorzaakt worden zitten in de sluitpost.

Tabel 3a. Termen waterbalans [mm] van proefperceel Baan voor verschillende perioden in de tijd van 1-1-2021 t/m 31-12-2023.

Baan		Neerslag [mm]	Pomp IN debiet [mm]	Evapotranspiratie [mm]	Pomp UIT debiet [mm]	Verandering berging [mm]	Kwel/Drainage [mm]
Sommen [mm]							
gemiddeld jaar	2021/2023	884	162	-650	-86	-5	-304
jaar	2021	853	21	-604	-31	-4	-235
jaar	2022	833	223	-695	-113	-3	-245
jaar	2023	965	241	-650	-115	-8	-432
KW1	2021	180	0	-72	0	28	-137
KW2	2021	219	0	-253	-0	-23	57
KW3	2021	177	5	-232	-13	5	58
KW4	2021	277	16	-47	-18	-14	-213
KW1	2022	199	65	-82	-7	8	-182
KW2	2022	216	54	-269	0	7	-8
KW3	2022	196	104	-286	-11	-8	5
KW4	2022	223	0	-58	-94	-10	-61
KW1	2023	277	0	-63	-34	5	-185
KW2	2023	128	45	-294	-14	9	126
KW3	2023	243	173	-254	-26	2	-138
KW4	2023	470	23	-50	-48	-15	-381
lente zomer	2021	396	5	-485	-13	-18	115
lente zomer	2022	412	158	-555	-11	-1	-3
lente zomer	2023	371	218	-548	-40	11	-12
herfst winter	2021/2022	475	81	-130	-25	-6	-395
herfst winter	2022/2023	500	0	-121	-128	-5	-246

Tabel 3b. Termen waterbalans [mm] van proefperceel Verhoef voor verschillende perioden in de tijd van 1-1-2021 t/m 31-12-2023.

Verhoef		Neerslag [mm]	Pomp IN debiet [mm]	Evapotranspiratie [mm]	Verandering berging [mm]	Kwel/Drainage [mm]
Sommen [mm]						
gemiddeld jaar	2021/2023	871	150	-649	-10	-362
jaar	2021	825	113	-603	-13	-322
jaar	2022	817	219	-695	-22	-319
jaar	2023	972	119	-650	4	-445
KW1	2021	178	0	-71	13	-119
KW2	2021	213	30	-253	-18	28
KW3	2021	154	78	-232	-13	15
KW4	2021	281	5	-47	6	-245
KW1	2022	192	66	-82	3	-179
KW2	2022	219	70	-269	1	-21
KW3	2022	183	82	-285	-2	22
KW4	2022	223	0	-58	-24	-141
KW1	2023	269	14	-63	22	-243
KW2	2023	131	31	-294	-1	132
KW3	2023	234	44	-253	-1	-25
KW4	2023	481	29	-49	1	-461
lente zomer	2021	367	108	-485	-32	42
lente zomer	2022	402	153	-555	-1	1
lente zomer	2023	365	76	-547	-1	108
herfst winter	2021/2022	473	72	-130	9	-424
herfst winter	2022/2023	492	14	-120	-2	-384

Tabel 3c. Termen waterbalans [mm] van proefperceel Heikoop voor verschillende perioden in de tijd van 1-1-2021 t/m 31-12-2023.

Heikoop		Neerslag [mm]	Pomp IN debiet [mm]	Evapotranspiratie [mm]	Pomp UIT debiet [mm]	Verandering berging [mm]	Kwel/Drainage [mm]
<i>Sommen [mm]</i>							
gemiddeld jaar	2021/2023	876	131	-646	-117	-12	-232
jaar	2021	844	90	-601	-145	-6	-181
jaar	2022	797	179	-692	-80	-15	-188
jaar	2023	988	125	-647	-125	-14	-327
KW1	2021	185	0	-71	0	0	-114
KW2	2021	210	31	-252	-0	-4	15
KW3	2021	193	59	-231	-47	7	19
KW4	2021	256	0	-47	-98	-9	-101
KW1	2022	208	6	-82	-39	14	-107
KW2	2022	224	48	-267	0	-12	7
KW3	2022	148	125	-285	-0	-5	16
KW4	2022	216	0	-58	-41	-13	-105
KW1	2023	280	0	-62	-14	20	-224
KW2	2023	121	71	-294	-23	-0	125
KW3	2023	253	51	-251	-12	12	-54
KW4	2023	480	3	-49	-76	-28	-329
lente zomer	2021	403	90	-482	-47	3	34
lente zomer	2022	373	173	-552	-0	-17	24
lente zomer	2023	374	122	-545	-34	12	71
herfst winter	2021/2022	464	6	-129	-138	5	-208
herfst winter	2022/2023	496	0	-120	-55	8	-329

Waterbalans proefperceel Baan

De balans bij Baan voor de gehele periode laat een overschot zien van in totaal 304 mm/jaar, dit betekent dat er netto een 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 (treedt op, zie boven).

De getoonde balanstermen bij Baan in Tabel 3a kunnen fouten bevatten, met name pompdebet UIT. In 2023 is geconstateerd dat de afvoerbuis lek was en de debietmeter water (UIT) heeft gemist. 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 bijna 90 mm/jaar (uit). 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 een niet-bemeten grondwater-afvoer op van ruim 180 mm/jaar. Met de geschatte interceptieverdamping en de wegzijging kan op het grootste deel van de niet-bemeten afvoer al ingevuld worden.

Waterbalans proefperceel Verhoef

De balans voor de gehele periode laat een overschot zien van in totaal 362 mm/jaar, dit betekent dat er netto een 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;
- Wegzijing naar grondwater (NB: er treedt kwel op, zie boven).

Bij Verhoef is er geen pompdebiet UIT. 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 en 2023 lijkt het waarschijnlijk dat de kwelstroom niet zo groot en anders 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.

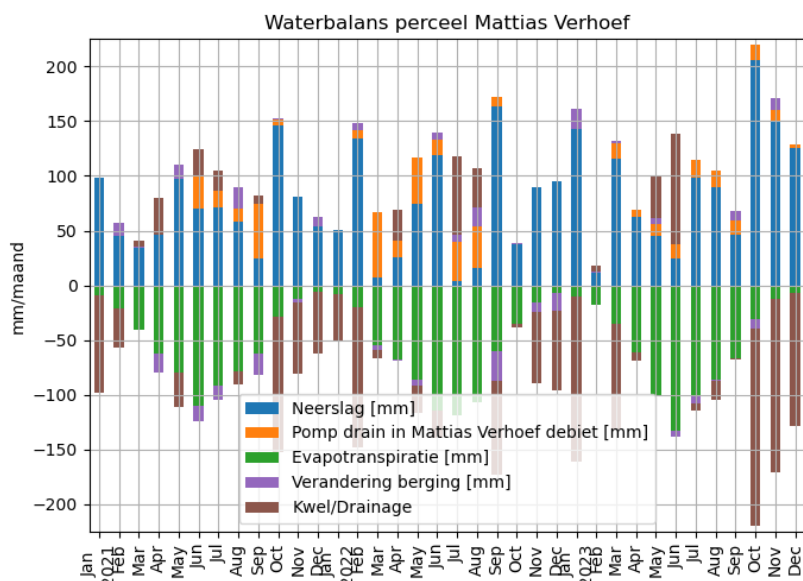
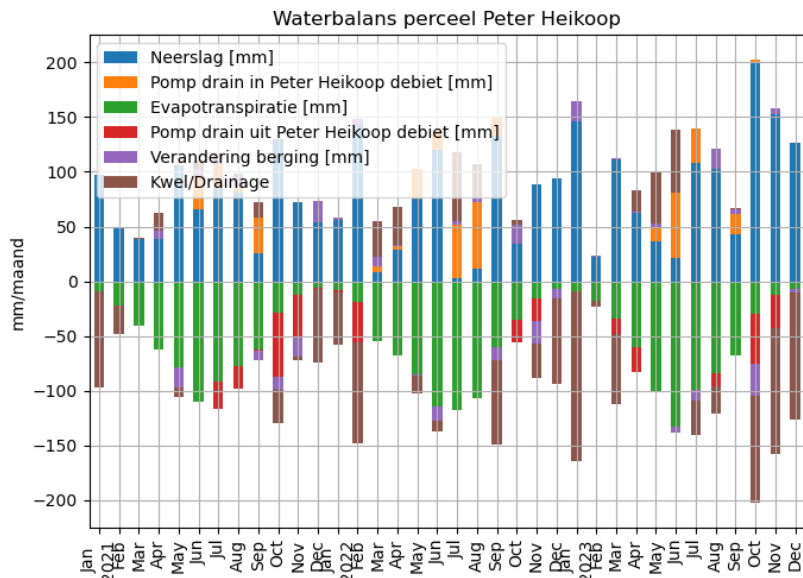
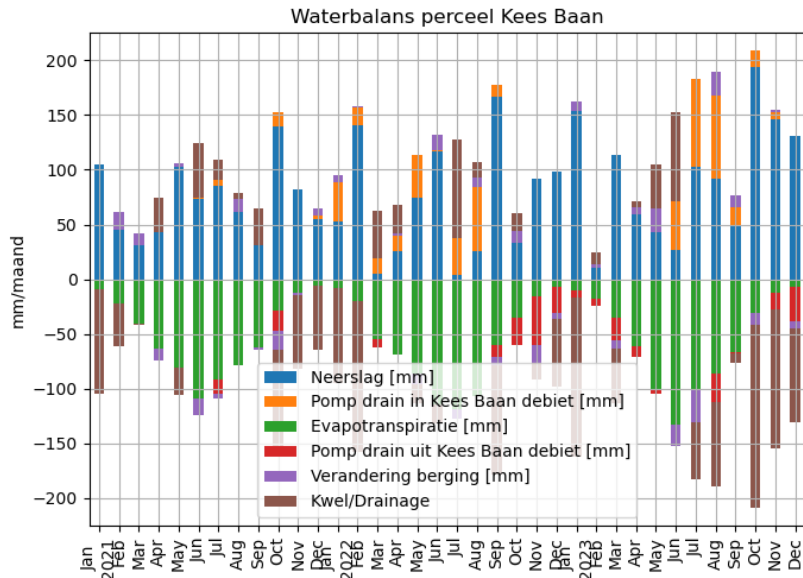
Fouten in de getoonde balanstermen zijn naar verwachting niet zo groot, dat deze de balans kunnen maken. De afvoer direct naar de kavelsloten kan met name plaatsgevonden hebben in natte perioden. In perioden met hogere grondwaterstanden op het proefperceel, zijn de slootpeilen niet veel hoger geweest 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 bijna 90 mm/jaar. Daarmee blijft het overschot gemiddeld nog niet verklaard. Waarschijnlijk is er sprake van een behoorlijke afvoer van water direct naar de kavelsloten.

Waterbalans proefperceel Heikoop

De balans voor de gehele periode laat een overschot zien van in totaal 232 mm/jaar, dit betekent dat er netto een 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;
- Wegzijing naar grondwater (NB: er treedt kwel op, zie boven).

Er is bij Heikoop lokaal sprake van kwel. Deze kwelstroom levert een extra toevoer van water op naar het perceel, net als bij Verhoef en waarschijnlijk groter. 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 niet nul is. Met een geschatte kwelintensiteit van 0,25 mm/dag komen we uit op ruim 90 mm/jaar extra aanvoer. Daarmee wordt het balansoverschot 320 mm/jaar. Interceptieverdamping (10% van neerslag) levert een afvoerterm van bijna 90 mm/jaar op. Dan resteert bijna 230 mm/jaar 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.

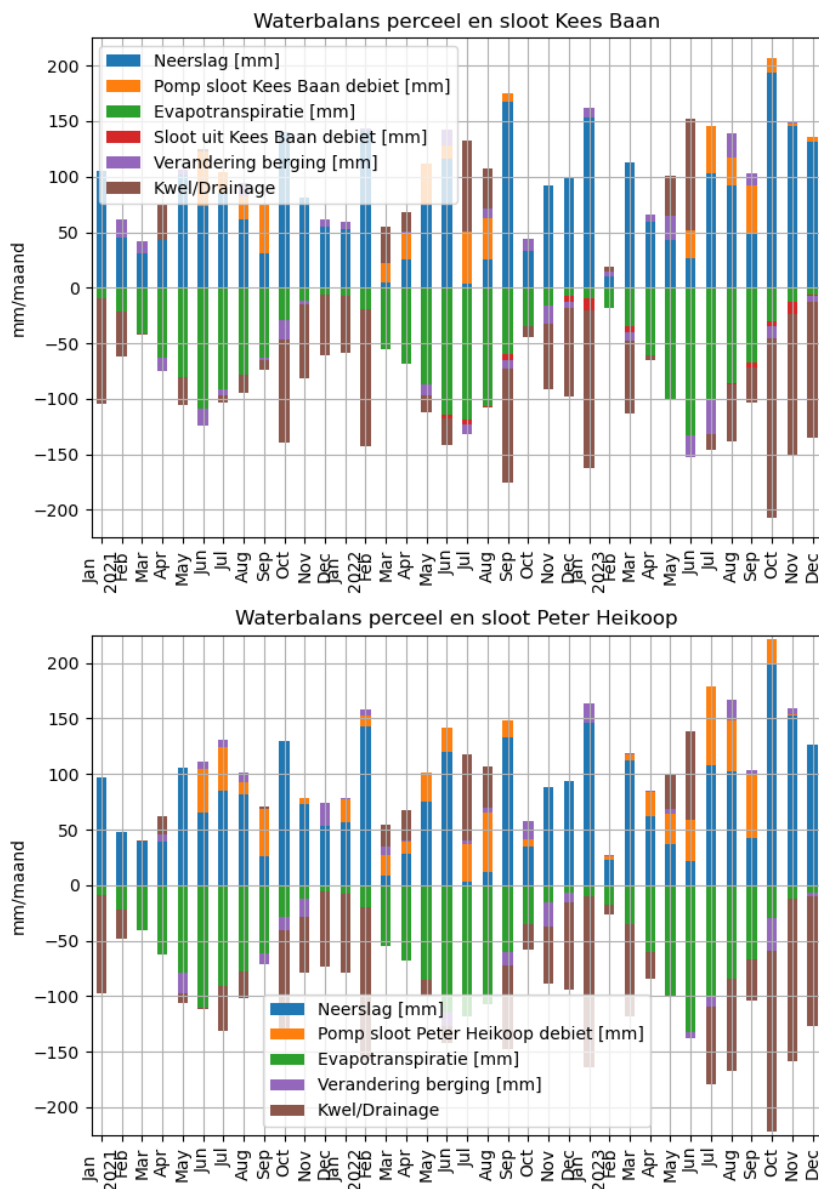


Figuur 27. Termen waterbalans per maand [mm/maand] van proefpercelen Baan, Heikoop en Verhoef in de tijd van januari 2021 t/m december 2023.

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 december 2023. Duidelijk te zien zijn de variaties van maand tot maand.

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 periode 1-1-2021 t/m 31-12-2023.

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/wegzijing 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 wijle 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 Watervraag voor subirrigatie proefpercelen

In de twee voorgaande paragrafen is de waterbalans geschetst van percelen en sloten. Specifiek onderdeel daarvan is de hoeveelheid water die via de pomp IN de systemen voedt. De watervraag van/voor vernatting is belangrijk omdat daarmee het doel van vernatting al dan niet bereikt kan worden: als de watervraag groter is dan aangevoerd kan worden in droge tijden via de polder en de omliggende rivieren (hoofdwatersysteem HWS), dan wordt de feitelijke realisatie van vernatting mogelijk minder.

'De watervraag van een perceel is gedefinieerd als de hoeveelheid water die vanuit de sloot of een WIS infiltreert in het perceel.' (Van Hardeveld, 2024)

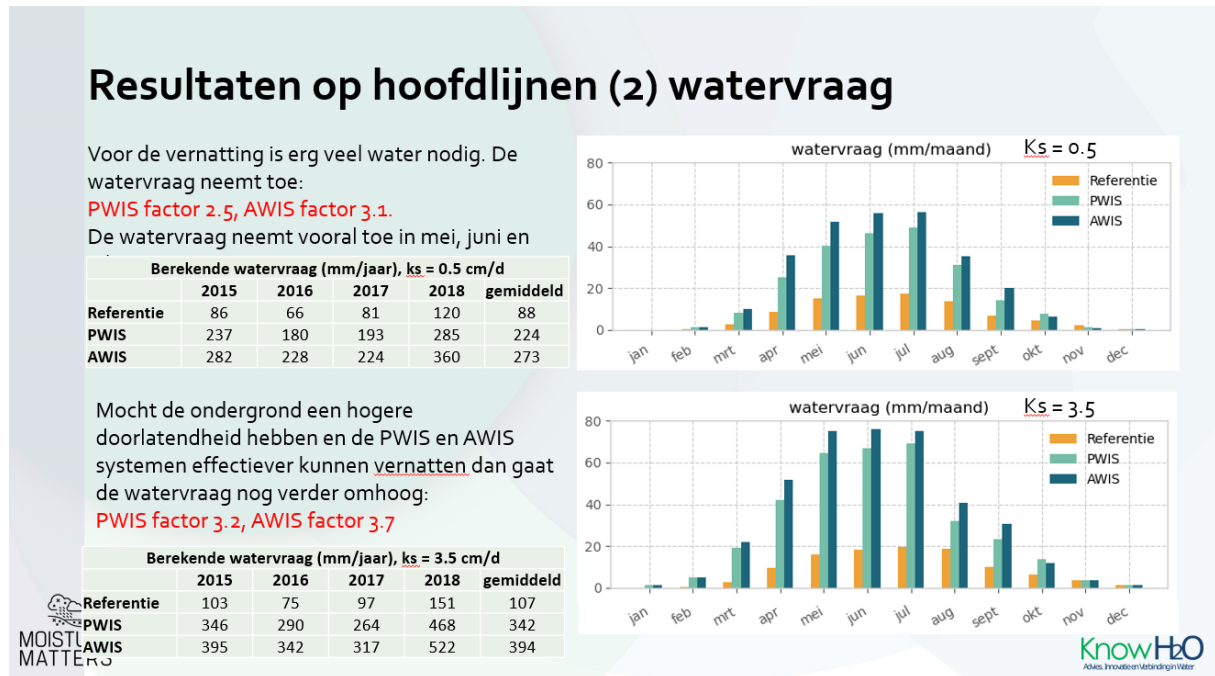
Als we de definitie van Van Hardeveld (Waternet/AGV) volgen, dan komt de watervraag in deze context overeen met het debiet van pomp IN bij/naar de systemen op de drie proefpercelen.

Hydrus_2D modelberekeningen (Voortman en Van den Eertwegh, 2023) zijn in opdracht van Waternet in 2023 uitgevoerd en gerapporteerd aan Waternet en op het Nationaal Congres Slappe Bodem op 16 november 2023 (Van den Eertwegh, Voortman, Olsman). De vraag die voorlag aan deze modelexercities was: wat is de watervraag bij referentiecondities en vernatting met PWIS en AWIS? PWIS staat voor Passief Water InfiltratieSysteem (ook wel onderwaterdrains), waarbij slootwater bij een gegeven slootpeil vrij kan instromen in drainagebuizen en zo kan infiltreren, zonder extra waterdruk. AWIS staat voor Actief Water InfiltratieSysteem (ook wel drukdrains ofwel regelbare drainage met subirrigatie), waarbij slootwater kan instromen in drainagebuizen en zo kan infiltreren, nu mét een (vaak instelbare) extra waterdruk, hoger dan het slootpeil.

De uitkomst is te zien in Figuur 29. Vergeleken met de referentiesituatie neemt de watervraag met PWIS gemiddeld per jaar (2015 t/m 2018) met een factor 2,5 tot ruim 3 toe, met AWIS met een factor ruim 3 tot bijna 4. AWIS is effectiever in vernatting, daarvoor is dus ook meer water nodig. Het mechanisme hierachter is via de waterbalansen van een perceel te verklaren.

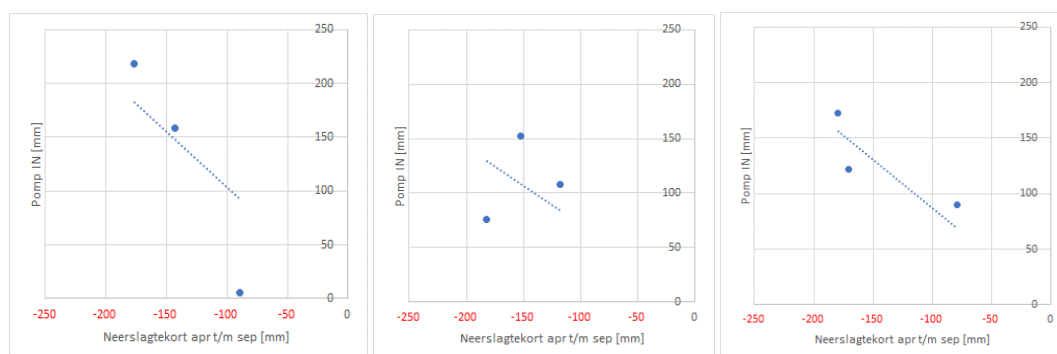
Vernatting betekent in feite de berging van water in de veenbodem op peil houden of verhogen. Berging van water vindt plaats via vocht in de bodem, die verzadigd is vanaf de freatische grondwaterstand neerwaarts. Uitputting van de waterberging in het bodemprofiel kan plaatsvinden via verdamping (beter: neerslagtekort) en wegzijging, daardoor zakken de grondwaterstanden in het groeiseizoen uit. De infiltratie vanuit de poldersloten is in de referentiesituatie te gering (1 à 2 mm/d) om deze uitputting bij te benen. PWIS en AWIS kunnen dit beide wel. Het op peil houden van de waterberging betekent dus het compenseren van het neerslagtekort en van de (toegenomen) wegzijging bij vernatting.

Uit de Hydrus_2D berekeningen blijkt dat de wegzijging niet veel toeneemt door de hogere freatische grondwaterstanden op percelen met PWIS of AWIS. De verticale weerstand in het gehele veenpakket is hoog. Dus daarmee moet op hoofdlijnen het neerslagtekort in het groeiseizoen (grofweg april t/m september; lente en zomer) worden gecompenseerd om de waterberging op peil te houden met een PWIS of AWIS.



Figuur 29. Berekende watervraag met Hydrus_2D model voor de jaren 2015 t/m 2018 [mm/jaar] met twee varianten van de verzadigde doorlatendheid K_s van veenbodem voor referentieperceel, PWIS en AWIS (Voortman en Van den Eertwegh, 2023).

Voor de periode april t/m september hebben we voor de drie groeiseizoenen de cijfers voor de proefpercelen van Baan, Verhoef en Heikoop bij elkaar gezet voor de sommen [mm] van het potentieel neerslagtekort (neerslag minus ET ref MAK KNMI) en de gemeten debieten via pomp IN. Figuur 30 laat zien dat er een (linear) verband is, uitzonderingen daargelaten. Dit verband spoot met de modelberekeningen voor Waternet van Voortman en Van den Eertwegh (2023). Daarmee is het potentieel neerslagtekort in het groeiseizoen een redelijk tot goede maat voor de werkelijke watervraag van de systemen.



Figuur 30. Watervraag proefpercelen: som april tot en met september [mm] van het potentieel neerslagtekort (neerslag minus ET ref MAK KNMI) vs. de gemeten debieten via pomp IN. Drie

groeiseizoenen 2021, 2022 en 2023. Baan (links), Verhoef (midden) en Heikoop (rechts). Stippellijn is 1:1 door de oorsprong (0,0).

KNMI (2023) en Deltares, RWS en KNMI (2023) geven aan dat grosso modo in klimaatscenario's het potentieel neerslagtekort in de zomermaanden en groeiseizoen groter wordt en de rivierafvoeren in zomer gaan dalen. De watervraag voor vernatting gaat dan toenemen en de waterbeschikbaarheid gaat afnemen.

4.8 Gewastranspiratie en droge-stof opbrengst gras bij Baan

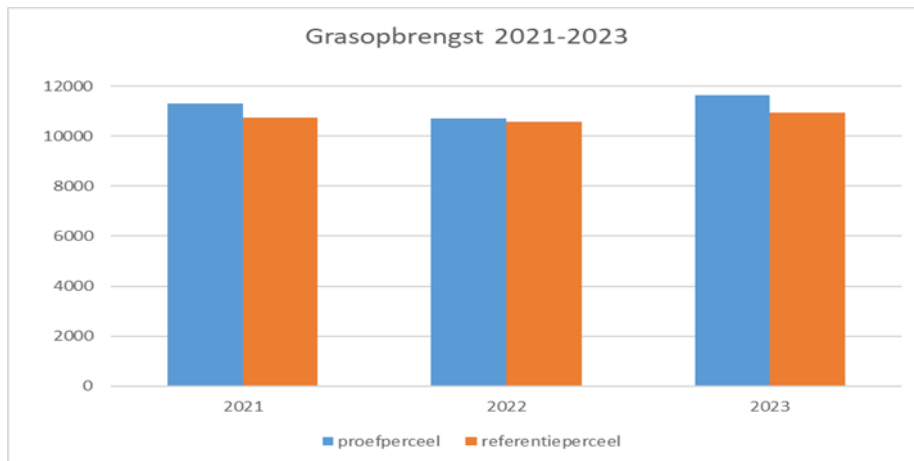
In paragraaf 4.1 is geschetst dat de werkelijke transpiratie van grasland [mm] samenhangt met de opbrengst aan droge-stof [kg/ha] (d.s.). In de maanden maart t/m september 2021 was de ETref MAK lager dan in dezelfde periode van 2022. Deze verdamping is getalsmatig niet gelijk aan de werkelijke transpiratie van grasland, deze laatste is lager (zie o.a. Van den Eertwegh en De Bruin, 2017; Voortman et al., 2022), na aftrek van bodemverdamping en eventuele stress van het gewas (te nat - zuurstofstress, te droog - vochtstress, te heet - hittestress). In 2023 was ETref MAK op jaarbasis (650 mm) 10% hoger dan in 2021 en 5% lager dan in 2022. In de maanden april tot en met september was de ETref MAK in 2022 en 2023 ongeveer gelijk (550 mm) en 10-15 % hoger dan in 2021. Het

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. Tabel 4 en Figuur 31 geven de d.s.-opbrengst weer. Gemiddeld over de jaren levert het proefperceel 3,8% meer d.s. op.

Tabel 4. Droge-stof opbrengst gras [kg/ha] bij Baan in 2021, 2022 en 2023. Data: KTC Zegveld (Van Houwelingen en Den Besten, 2024). Data ETref MAK [mm]: KNMI. Drie van de vier snedes gemaaid en bemeten in 2021 (NB snede vier is gemist) met correctie nadien, zes snedes gemaaid en bemeten in 2022 en ook zes snedes gemaaid en bemeten in 2023. Methode volgens uitgemaaidde stroken gras.

Seizoen	Droge-stof opbrengst [kg/ha]			Opmerking
	referentie	proef	Proef t.o.v. Referentie %	
2021*	10.734	11.294	+ 5,2	Snede vier van in totaal vier snedes is niet gemaaid en bemeten
2022	10.581	10.701	+ 1,1	Zes snedes gemaaid en bemeten
2023	10.953	11.632	+ 6,2	Zes snedes gemaaid en bemeten

*gecorrigeerde opbrengst



Figuur 31. Droge-stof opbrengst gras [kg/ha] bij Baan in 2021, 2022 en 2023. Data: KTC Zegveld (Van Houwelingen en Den Besten, 2024).

In 2021 is de vierde snede gemist tijdens de werkzaamheden. De opbrengst van deze snede is bij de getoonde opbrengst opgeteld voor een volledige seizoenopbrengst. 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 (figuren en tabellen in Van Houwelingen en Den Besten, 2024).

Als we 2023 erbij nemen, dan zien we dat overall voor beide percelen voor de drie meetjaren de verschillen tussen de jaren <10% zijn, als ook de verschillen tussen de twee percelen. We hebben geen statistiek kunnen bedrijven met deze data. De verschillen zijn van een dusdanig geringe omvang, dat niet hard gemaakt kan worden waar ze door veroorzaakt zijn. Een mix van factoren bepaalt nl. de d.s. opbrengst.

Een recent overzicht van toepassing van WIS op veengronden en de effecten daarvan op de d.s. opbrengst van gras en N-mineralisatie staat in Hoving et al. (2024). De percelen die in de hier gerapporteerde proeven vallen binnen de range van andere gerapporteerde percelen qua d.s. opbrengst.

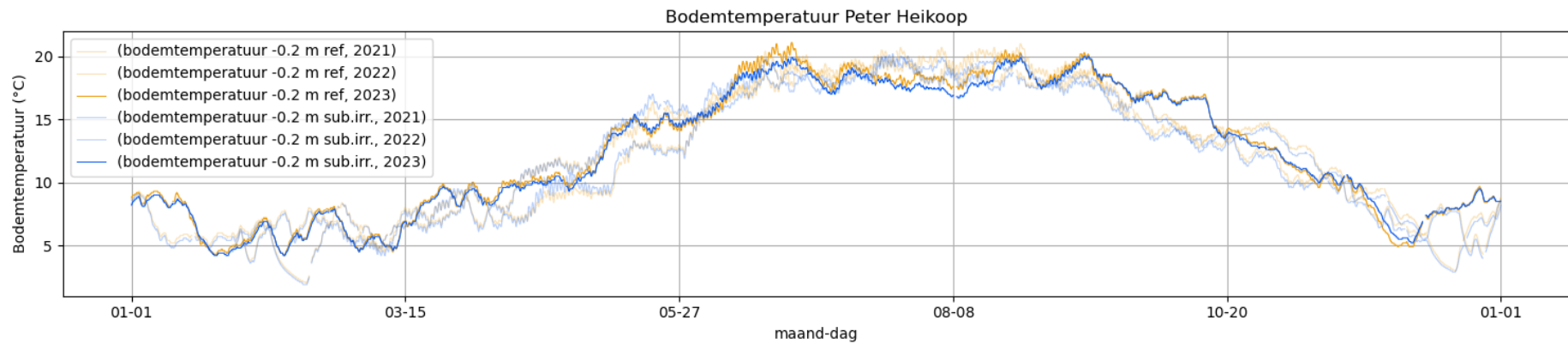
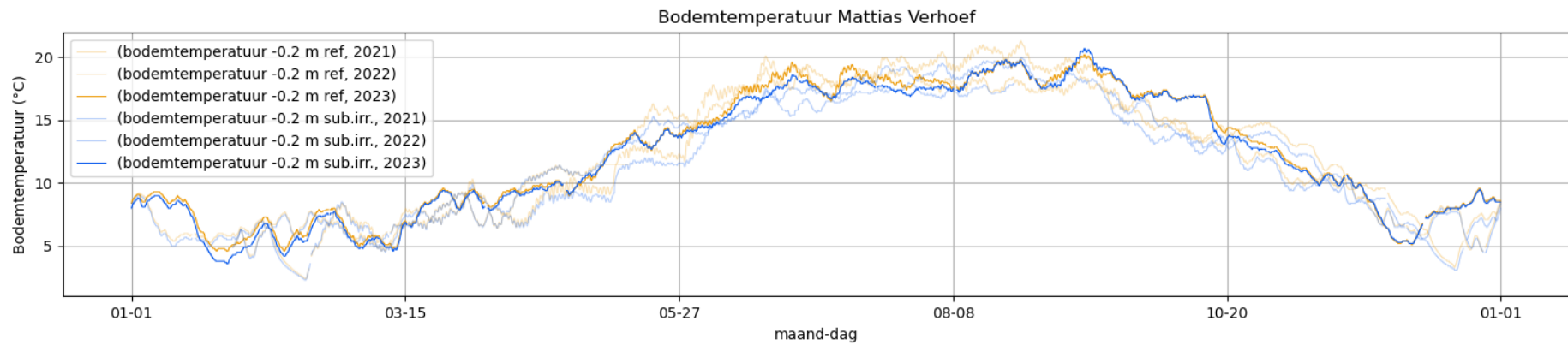
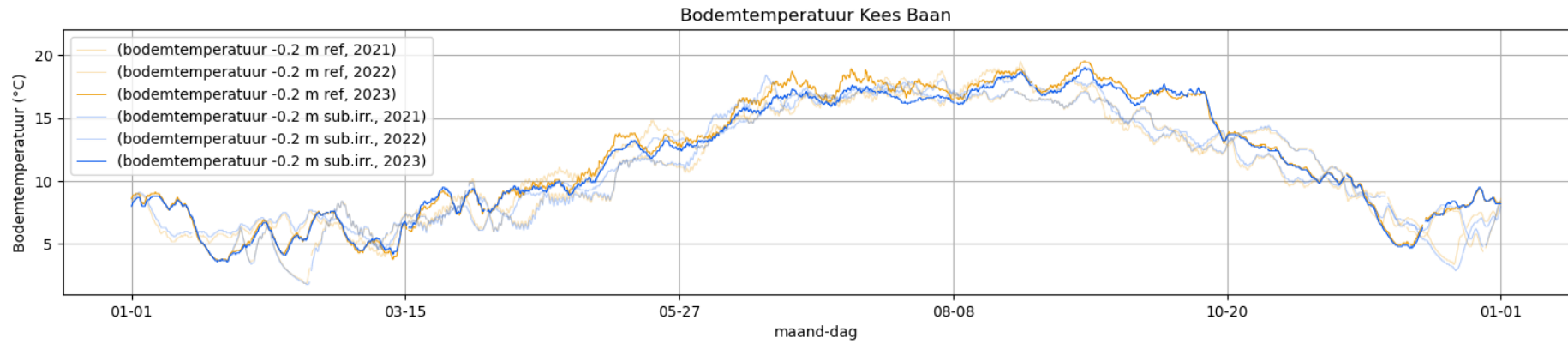
Tabel 5. Grasland-opbrengst percelen Baan 2021 t/m 2023 en neerslag, verdamping, pompdebiet (netto IN-UIT), en hiermee gecorrigeerd neerslagtekort [mm]. Opbrengst gras d.s. in [kg/ha].

Baan seizoen	neerslag [mm]	ET ref MAK [mm]	neerslagtekort [mm]	pomp IN - UIT [mm]	neerslagtekort correctie [mm]	d.s. gras [kg/ha] PROEF	d.s. gras [kg/ha] REF
2021	396	-485	-89	-8	-97	11294	10734
2022	412	-555	-143	147	4	10701	10581
2023	371	-548	-177	178	1	11632	10953

Het potentieel neerslagtekort (neerslag minus ETref MAK) voor de maanden april tot en met september bij Baan (kolom 4 in Tabel 5) is in theorie een maat/indicatie voor een eventuele reductie van de d.s. productie. In de praktijk blijkt dit niet zo te zijn, er is blijkbaar een andere reden voor een lagere of hogere d.s. opbrengst in de drie meetjaren. In 2022 en 2023 is het potentieel neerslagtekort op seizoensbasis volledig gecompenseerd door netto water aan te voeren via pomp IN. Daarmee verwachten we dus voor die twee seizoenen geen watertekort, dus is water geen beperkende factor voor de d.s. productie. De ETref MAK als seizoensom in 2021 is >10% lager dan die van 2022 en 2023. De hoeveelheid water die de pomp IN in 2021 aan had kunnen voeren om het neerslagtekort aan te vullen kan prima uit de waterberging van het perceel zijn gekomen: bodemvocht en capillaire opstijging vanuit het freatisch grondwater.

Wat nog een factor ter discussie kan zijn bij de d.s. opbrengsten is de mineralisatie van organisch stof in de klei-op-veen bodem. Minerale stikstof kan door het gras opgenomen worden. Zo ontstaat het (bodem)stikstof-naleverend-vermogen (NLV) en daalt de veenbodem. Met de aanname dat de jaarlijkse depositie van stikstof uit de lucht 30 à 40 kg/ha bedraagt, leverde de mineralisatie in de Proefpolder Kringloop Landbouw nabij Wilnis (Projectteam Proefpolder Kringloop Landbouw, 2021; Honkoop, 2022) jaarlijks naar schatting ongeveer 200 à 250 kg/ha aan stikstof op (2016-2019). De mineralisatie wordt o.a. beïnvloed worden door de vochthuishouding van de bodem en daarmee ook bodemtemperatuur. Deze is gemeten op alle percelen (Figuur 32; alleen data op diepte 0,2 m-m.v.).

Hypothese was dat de bodems van de vernatte proefpercelen langzamer opwarmen en kouder zouden zijn dan die van de referentie-percelen. Dat zijn ze ook, ongeveer 1 tot 3°C. Op de meetdieptes 0,4 en 0,6 m-m.v. zijn de verschillen kleiner. Een koudere bodem zou minder mineralisatie tot gevolg hebben. Dat kan zo zijn (geweest), maar in deze proeven heeft dat niet geleid tot een lagere d.s. opbrengst voor de proefpercelen.

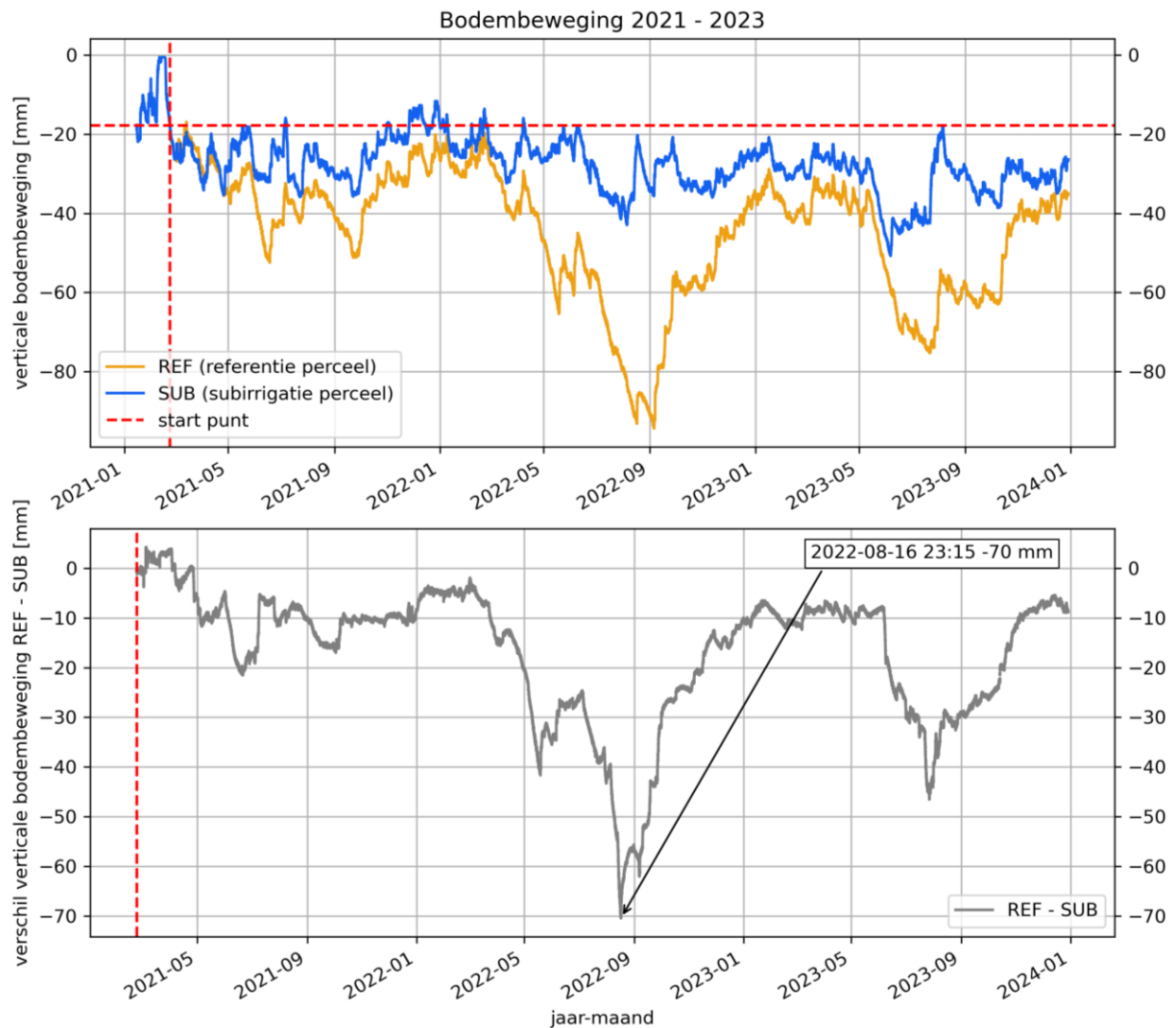


Figuur 32-1, 32-2 en 32-3. Gemeten bodemtemperatuur [°C] in de tijd op diepte 0,2 m-m.v. in het bodemprofiel op proefpercelen (sub.irr.; in blauw) en referentiepercelen (ref.; in oranje) in 2021, 2022 en 2023 bij Baan, Verhoef en Heikoop. Op de X-as staan de maanden-dagen van het jaar (03-15 staat voor 15 maart).

4.9 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 33 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 31-12-2023; 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 in de grijze lijn betekent dat de maaiveldhoogte van het referentieperceel lager is dan die van het proefperceel.



Figuur 33. 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

december 2023. 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 en met december 2023 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.

Vanaf medio oktober 2022 tot en met eind december 2023 stijgt het maaiveld op het referentieperceel verder tot begin mei 2023. Het verschil met het proefperceel daalt in deze periode tot ongeveer 8 mm. Vanaf eind mei/begin juni 2023 gaat de pomp IN bij het proefperceel aan, de grondwaterstand stijgt (zie boven) en het verschil in maaiveldhoogte neemt toe van de genoemde 8 mm naar >45 mm. Daarna daalt door de natte weersomstandigheden in juli-augustus en oktober-december 2023 het verschil in maaiveldhoogte op beide meetlocaties naar 9 mm.

Vanaf de start van de metingen op 22-2-2021 tot 31-12-2023 daalt het maaiveld op het proefperceel 7 mm, op het referentieperceel 16 mm. Omgerekend via het aantal dagen is dat een jaarlijkse bodemdaling van 2,5 mm/j voor het proefperceel en 5,6 mm/jaar voor het referentieperceel. Het referentieperceel daalt met een factor van 2,3 meer.

Ter controle van de VSM-meetopstelling zijn waterpassingen uitgevoerd van de hoogte van de fundering-pin op 22-2-2021, op 16-9-2022, op 7-3-2023 en op 5-9-2023. 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 RTK-metingen weken ongeveer 2 cm af van de data via de waterpassing, een te grote afwijking.

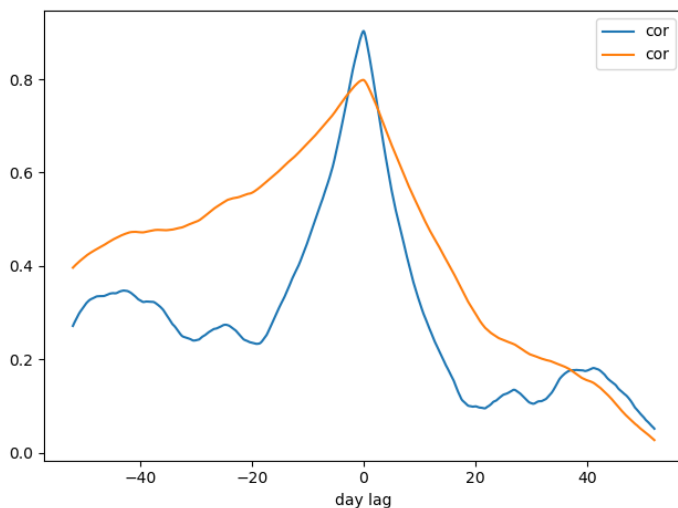
De VSM-sensor schuift om de fundering-pin heen, de verticale positie van deze pin (m+NAP) bepaalt de meting van de absolute hoogte van het maaiveld ter plekke. In Tabel 6 staan de data van alle waterpassingen.

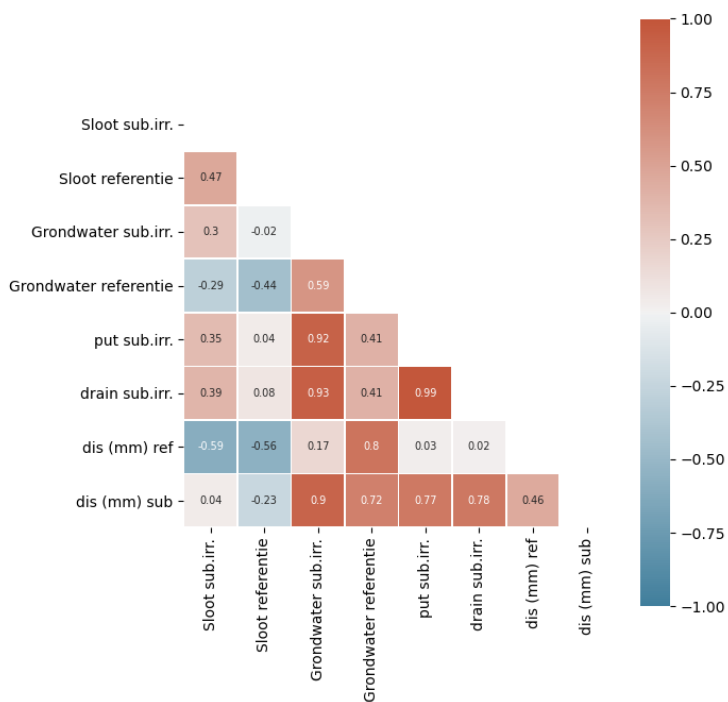
Tabel 6. Waterpassingen van de NAP-hoogte van de stalen fundering-pin in het zand onder deklaag, ter controle van de verticale positie van de VSM-sensor. Data: Avallo Advies BV.

Fundering-pin	Perceel	Datum	Hoogte [m+NAP]	Vershil* [m]
WEST_3 pin	AV_referentie	22-2-2021	-0,5838	0,0000
WEST_3 pin	AV_referentie	16-9-2022	-0,5899	-0,0061
WEST_3 pin	AV_referentie	7-3-2023	-0,5859	-0,0021
WEST_3 pin	AV_referentie	5-9-2023	-0,5853	-0,0015
WEST_2 pin	AV_subirrigatie	22-2-2021	-0,5649	0,0000
WEST_2 pin	AV_subirrigatie	16-9-2022	-0,5669	-0,0020
WEST_2 pin	AV_subirrigatie	7-3-2023	-0,5670	-0,0021
WEST_2 pin	AV_subirrigatie	5-9-2023	-0,5649	0,0000

*met eerste meting op 22-2-2021

Uit Tabel 5 blijkt dat beide pinnen nul tot 2 mm gedaald zijn in de tijd vanaf 22-2-2021, waarbij de pin op het referentieperceel op 16-9-2022 een niet-verklaarbare (maar wel gemeten) verschil van 6 mm te zien gaf. De fundering van de pinnen is dus niet helemaal absoluut, er zit enige beweging in de zand-ondergrond onder de klei-op-veen deklaag. Voor de bepaling van de absolute maaiveldhoogte bij de twee VSM-sensoren betekent de waterpassing dat het maaiveld op beide plekken zakt, ook ten gevolge van de daling van de zandondergrond. Daarbij moet de eventuele daling zoals gemeten met de VSM-sensoren worden opgeteld. De hoogtemetingen in maart en september 2023 via de waterpassing van de fundering-pin hebben niet tot een correctie van de metingen van de bodembeweging geleid.





Figuur 34. Bodembeweging: berekende correlatiecoëfficiënten tussen gemeten variabelen in het veld. DIS staat voor gemeten bodembeweging (data 22-2-2021 t/m medio oktober 2022).

In Figuur 34 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 via infiltratie. Een systeem van regelbare drainage met subirrigatie is beter tot goed in staat om grondwaterstanden op percelen te sturen.

*De sterke correlatie van de gemeten freatische grondwaterstanden met de gemeten bodembeweging betekent voor de berekening van bodemdaling op basis van **incidentele bodemhoogtemetingen** dat deze laatste dan steeds moeten worden uitgevoerd bij onderling dezelfde freatische grondwaterstanden. Sterker nog, bij voorkeur tijdens zeer hoge freatische grondwaterstanden in de wintermaanden (neerslagoverschot), wanneer de bodemhoogte op zijn hoogst is.*

4.10 Effect regelbare drainage met subirrigatie op waterkwaliteit

De chemische en biologische waterkwaliteit van veenweidegebieden wordt bepaald door diverse factoren, variërend van de invloed van inlaatwater, af- en uitspoeling van meststoffen, atmosferische depositie, tot aan inrichting van sloot en oevers, maaibeheer, slootonderhoud en het weer. Op basis van meetdata van WSRL (Gylstra, 2024) en hydrologische debietgegevens binnen het project (dit rapport) beschouwt Jaarsma (2024) de effecten van de toepassing van drukdrainage (regelbare drainage met subirrigatie, AWIS) op de chemische waterkwaliteit.

Uit de analyse van Jaarsma (2024) blijkt dat drukdrainage leidt tot een toename van de in- en uitgaande waterstromen in de perceelsslotten, met name in de zomer. De inlaat van polderwater, met als bron rivierwater, is in de sloten van de percelen met drukdrainage tot drie à vier keer zo hoog als in de situatie zonder drukdrainage. Ook neemt de afvoer van perceelwater naar het

oppervlaktewater toe, vooral in de winter, maar ook in de zomer. Deze bevindingen komen overeen met die van Voortman en Van den Eertwegh (2023).

Bij het effect van drukdrainage op de waterkwaliteit maakt Jaarsma (2024) onderscheid naar het effect op de gemeten stofconcentraties in slootwater en het effect op de berekende stofbelasting van de perceelsloten (de aanvoer van een stof naar de sloot). Van Hardeveld (2024) geeft aan dat deze stofbelasting in het algemeen afhankelijk is van de waterstromen en samenstelling van het aangevoerde water. Een eenduidig effect van drukdrainage op gemeten stofconcentraties in slootwater (door WSRL) is in de onderzoeksperiode 2021 t/m 2023 niet gevonden. Dit kan veroorzaakt zijn door de lengte van de meetperiode van drie jaar (te kort). Het effect van drukdrainage op de berekende stofbelasting van de sloten geeft wel een duidelijk beeld. Van bijna alle sloten neemt de stofbelasting toe, vooral in de zomer, voornamelijk door de toename van de inlaat van water. Ook doordat er meer grondwater vanuit het perceel wordt afgevoerd, neemt de stofbelasting toe. Dit geldt alles voor de korte termijn.

Voor de (middel)lange termijn is het de vraag hoe de chemische samenstelling van bodemvocht en grondwater in de percelen onder invloed van drukdrainage zal veranderen. De hogere belasting door inlaatwater is echter blijvend (o.a. fosfor, stikstof, bicarbonaat, sulfaat). Daardoor wordt het risico vergroot dat de chemische waterkwaliteit verslechtert, met name in de zomerperiode. Dit water kan volgens Jaarsma (2024) de afbraak van organisch materiaal in de waterbodem stimuleren en tot een toename leiden van nutriëntenbeschikbaarheid. Een toename van de waterhardheid kan negatieve effecten op de slootvegetatie tot gevolg hebben. De verwachting van Jaarsma (2024) is dat drukdrainage op langere termijn leidt tot minder aerobe veenafbraak en daarmee tot een lagere uitspoeling van stoffen uit de proefpercelen. Er kan door de samenstelling van het slootwater meer anaerobe afbraak plaatsvinden van de veenbodem in het invloedgebied rondom de drainbuizen door nitraat en/of sulfaat. Het hangt o.a. van de P-toestand en samenstelling van de veenbodem af hoe groot de belasting van de sloten hierdoor zal zijn (Van Hardeveld, 2024).

5 Conclusies

Op basis van de metingen en resultaten tot en met december 2023 zijn onze conclusies als volgt.

Doelen lokaal tot regionaal

- De lokale doelen op de percelen die met vernatting via drukdrainage/AWIS/regelbare drainage met subirrigatie nagestreefd worden, moeten helder en transparant zijn.
- Belangrijk aspecten van lokale en regionale doelen zijn de watervraag voor vernatting op lokale schaal (# ha en # systemen) en de (zoet)waterbeschikbaarheid op regionale schaal. Als er te weinig water is, wordt de vernatting minder.
- Lokale doelen afstemmen met doelen op het niveau van peilvak of afwateringseenheid. Rekening houden met wateroverlast en watervraag van de systemen, nu en ook in de toekomst (tot en met bijvoorbeeld de afschrijvingstermijn).
- Tussentijds het halen van doelen evalueren, ervan leren en eventueel bijstellen.

Ontwerp en aanleg van systemen

- Drukdrainage-AWIS-regelbare drainage met subirrigatie: het ontwerp is maatwerk. Dimensies, diepte, afstanden, materiaal, koppelingen, afvoerbochten en instelmogelijkheden moeten passen bij de lokale bodem en hydrologie en doelen die met de systemen moeten worden behaald.
- Aanleg moet met zorgvuldigheid gebeuren, inclusief het moment waarop (niet te droog, niet te nat). 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. Nazorg en controle van het aangelegde werk is nodig.

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 2023 en 2022 dan in 2021 in periodes zonder neerslag. Doelbereik behaald.
- Eventuele terugloop en lekkage bij/rond dammen in kavelsloten is verholpen, behalve de waarschijnlijke lekkage bij Verhoef bij aansluiting van de afvoerbocht (90°) uit de put.
- De monitoring werkt veelal prima. Uitval van sensoren is opgetreden vanwege fabrieksfouten, die niet meteen opvielen omdat metingen doorliepen, maar foutieve waarden opleverden; alle defecte sensoren zijn vervangen, behalve tegen het einde van het project, na overleg en afstemming met betrokkenen.
- De vele waarnemingen via inzet van de meetapparatuur zijn waardevol en onderling consistent. Ze leveren een vrijwel compleet beeld van de hydrologische situatie buiten in het veld (ook als er een sensor uitvalt).
- We moeten voorzichtig zijn en blijven met perceelmanagement nabij de meetopstellingen. PV-installaties vrijhouden van schaduw door planten e.d.
- Bediening van de systemen en de inzet greppels tijdens met name bij hoogwater blijft een punt van aandacht.
- De aansturing op de gewenste niveaus van het freatische grondwater was beter sinds de periode eind 2021/2022; er is vrijwel goed gestuurd op hogere grondwaterstanden tot net onder het kleidek, dan wel de onderkant van de aanwezige greppels.

- Technische aanpassingen zijn lopende het traject steeds nodig geweest, maar minder naarmate de tijd vorderde; de meeste problemen zijn tijdig 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 heeft de betrokkenheid bevorderd van de agrariërs op de pilot en van de andere betrokkenen; een app op de mobiele telefoon was nog beter/gemakkelijker geweest.
- Regelbare drainage met subirrigatie vraagt aandacht, zorg, beheer en onderhoud. Dat kost tijd, elke week tijdens het gebruik ervan. De effecten ervan vallen of staan met de bediening van de systemen. Monitoring van bediening én van de effecten daarvan zijn en blijven daarom beide nodig; begeleiding hiervan ook, desgevraagd.
- De nieuwe vlotters en de ervaring van de boeren hebben ervoor gezorgd, dat er sinds 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. In 2023 is de inzet duidelijk effectief, totdat het in de loop van juli begon te regenen en de situatie buiten nat tot natter werd.
- Handwaarnemingen aan grondwaterstanden en slootpeilen zijn uitgebreid en nuttig geweest ter bewustwording, lering en controle.
- De subirrigatie zorgt door de ondergrondse toediening van water voor een minder grote, dan wel stabilisatie tot een stijging van de freatische grondwaterstand in tijden van een neerslagtekort. Daarmee leidt de subirrigatie tot doelbereik t.a.v. vernatting van de (klei-op) veenbodems, via de juiste instelling van vlotters en door gebruik te maken van pompen met voldoende capaciteit en PV-energie.
- De wateraanvoer naar de afgedamde kavelsloten zorgde binnen de groeiseizoenen voor hogere slootpeilen bij alle agrariërs; idem in het najaar van 2021, voorjaar van 2022 en in 2023; doelbereik hogere slootpeilen dan polderpeil is behaald. In de droge maanden van 2023 is de wateraanvoer (te gering) naar en het peilbeheer (iets lagere slootpeil) van de kavelsloot bij Verhoef iets achtergebleven bij de doelstelling.
- 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 zijn daarmee onder afvoer-omstandigheden afhankelijk gebleven van het beheer van het polderwater door WSRL; de daling van de piek in de slootpeilen van de proefpercelen zijn even snel als de daling van het polderpeil, totdat we via de dammen niet verder zijn gezakt met de peilen in de proefsloten.
- Op alle locaties laten sensoren in de pompput en in de drain (vrijwel) eenzelfde verloop zien van de waterstand. Dit betekent dat de drain met de sensor in goede verbinding staat met de put en water vrij de drains inloopt. De systemen hebben naar behoren gewerkt.
- Door uitval van druksensoren zijn er soms en tijdelijk gaten ontstaan in de meetreeksen. Deze zijn deels opgevangen met de gemeten waterstand in de drain, die in correct-bemeten

tijdperiodes goed overeenkomt met de freatische grondwaterstand. Het grote voordeel van het meten is dat we onderlinge verbanden tussen de verschillende metingen zien en hebben gebruikt ter onderlinge controle.

- 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. Dus meer focus op meten van zuigspanning/negatieve drukhoogte.
- Er is een duidelijk hogere *watervraag* van de proefpercelen bij droog weer, met als positief en beoogd effect hogere bodemvochtgehalten en hogere grondwaterstanden. Aan deze watervraag moet dan wel voldaan kunnen worden vanuit de polder (inlaatwater voldoende). Vernatting op lokale schaal staat en valt met (zoet)waterbeschikbaarheid op regionale schaal, nu en met de in gang zijnde klimaatveranderingen (KNMI, 2023; Deltares, RWS, KNMI, 2023). Als er weinig water is, wordt de vernatting minder. Als er minder water komt richting 2050 (afvoer grote rivieren neemt af) én de watervraag toeneemt voor vernatting, dan vermindert de vernatting.

- Een systeem van regelbare drainage met subirrigatie is veel 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. Na een drogere zomer in 2022, is de m.v.-hoogte deels gestegen na een natte septembermaand, maar stabiel en relatief 40 mm lager dan de m.v.-hoogte van het proefperceel. De wintermaanden (2022/2023) en de rest van 2023 tonen metingen van een stijgend maaiveld. Door pomp activiteiten neemt het verschil in maaiveldhoogte toe naar >45 mm. Daarna daalt door de natte weersomstandigheden in juli-augustus en oktober-december 2023 het verschil in maaiveldhoogte op beide meetlocaties naar 9 mm.
- Gehele meetperiode: 22-2-2021 tot 31-12-2023. Het maaiveld op het proefperceel daalt 7 mm, op het referentieperceel 16 mm. Omgerekend is dat een jaarlijkse bodemdaling van 2,5 mm/j voor het proefperceel en 5,6 mm/jaar voor het referentieperceel. Het referentieperceel daalt met een factor van 2,3 meer.
- De variatie van de maaiveldhoogte in de tijd 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. De proef blijkt dus verschil te maken in het vochtprofiel van de klei-op-veenbodem en in de bodembeweging. Een positief resultaat.
- 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 hebben twee VSM-waterpassingen-controlemetingen gedaan in 2023, op basis hiervan constateren we dat de metingen van de bodembeweging in de gehele projectperiode valide zijn.
- Belangrijkste oorzaken van bodembeweging in onze pilot zijn krimp, zwel, veenoxidatie (aerob en/of anaerob; 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.

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 de jaren 2021, 2022 en 2023.
- 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 en laten vrijwel geen verschil zien.

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 pompput 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 tezamen beperkend in het mogelijk verhogen van de grondwaterstand.
- Greppels kunnen veel water afvoeren. Greppelmanagement is belangrijk voor de hydrologie van een veenweideperceel.

6 Aanbevelingen

Onze aanbevelingen luiden als volgt:

- Monitoring van het beheer van WIS systemen is essentieel. Monitoring via sensoren en handwaarnemingen aan grondwaterstanden, slootpeilen en debieten zijn belangrijk.
- VSM-metingen en -waterpassingen zijn waardevol voor feitenkennis inzake bodemdaling en correcte berekeningen aangaande deze.
- Bediening systemen en inzet greppels tijdens met name bij hoogwater blijft punt van aandacht.
- Management moet (nog) meer gericht zijn op het niet uitpompen van water via de drainagesystemen.
- Monitoring van de grasland-opbrengst is een wezenlijke effect monitoring. Gewasopbrengst verder vergelijken 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.
- Intensieve communicatie van (tussentijdse) resultaten van dit type projecten continueren; discussie met opdrachtgevers (PZH, PU, RMA) en met derden (NOBV-onderzoekers, VIC, WUR-WLR, Bureau B-Ware, ...).
- Doorgaan met VSM-metingen bodembeweging na 2023; meetnet uitbreiden met andere locaties in regio/streek, mede i.v.m. informatie uit documenten voorbereiding peilbesluit Waterschap Rivierenland (2022).
- Bij uitrol van systemen onze bevindingen ter harte nemen.

7 Bibliografie

- Bakel, Jan van, Gé van den Eertwegh, Harry Massop en Jairus 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 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.
- Deltares, RWS en KNMI (2023). *Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse*. Deltares, 11209265-002-ZWS-0003.
- 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) nr. 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.

Hardeveld, H. van (2024). Feitenverhandeling over de hydrologische effecten van veenvernatting. Januari 2024. Waternet/AGV.

Honkoop, W. (2022). Resultaten Kringloop Wijzers Proefpolder Kringlooplandbouw. PPP-Agro Advies.

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.

Hoving, I., van Middelkoop, J.C., Massop, H.T.L., Hendriks, R., van den Akker, J.J.H., en van Houwelingen, K.M. (2021). Effects of water infiltration on grass yields and soil nitrogen supply of Dutch peat soils. Wageningen Livestock Research, WUR, KTC Zegveld. Bijdrage EGF-congres 2024.

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

Houwelingen, K. van, en J. den Besten (2024). Pilot Drukdrainage/waterinfiltratie in de Vijfheerenlanden en de Alblasserwaard. Metingen van grasopbrengst en -samenstelling bij Kees Baan in 2021, 2022 en 2023. Dwarsprofielmetingen hoogte maaiveld (1 tot 3 greppels proefpercelen). KTC Zegveld, 2024.

Jaarsma, N. (2024). Pilot drukdrainage Alblasserwaard-Vijfheerenlanden: effecten op waterkwaliteit. Rapportnummer ALB01-1.

KNMI (2023). Klimaatscenario's 2023 voor 2050 en 2100.

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.

Projectteam Proefpolder Kringloop Landbouw (2021). Proefpolder Kringloop Landbouw: Betere nutriëntenbenutting en minder emissies voor schoner water. KnowH2O (projectleider namens VIC), VIC, LBI, PPP-Agro Advies, NMI, WEnR, Boerenverstand.

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.

Overige bronnen (bron: Van Hardeveld, 2024)

Dik, P. (2022). Effecten waterinfiltratie op afvoer Spengen en Lange Weide. Review, verbetering en toepassing SWAP-model bij drukdrainage en onderwaterdrainage. Wageningen Environmental Research.

Hendriks, R., van den Akker, J., van Houwelingen, K., van Kleef, J., Pleijter, M., van den Toorn, A. (2013). Pilot onderwaterdrains Utrecht. Alterra. <http://edepot.wur.nl/310585>

Hendriks, R., van den Akker, J., Jansen, P., Massop, H. (2014). Effecten van onderwaterdrains in peilvak 9 van polder Groot-Wilnis Vinkeveen. Alterra.

Hoogland, F., Roelandse, A., Velstra, J. (2021). Waterkwantiteit en waterbeheer. Een inventarisatie van de haalbaarheid van maatregelen in het veenweidegebied. STOWA.

Hoving, I., van Riel, J., Massop, H., Hendriks, R., van den Akker, J., van Houwelingen, K. (2021). Precisiewatermanagement op veenweidegrond met pompgestuurde onderwaterdrains. Rapportage onderzoeksperiode 2016-2020. Wageningen Livestock Research.

Hunink, J., Schasfoort, F., Pauwels, J., Mens, M. (2019). Het effect van onderwaterdrainage en passieve peilstijging in veenweidegebieden op knelpunten in de zoetwatervoorziening. Deltares.

Hunink, J., Mens, M., Melman, R. (2022). Verkenning toename watervraag door vernattingsmaatregelen in veenweidegebieden. Deltares.

Hydrologic (2023). Waterinfiltratiesystemen in de Krimpenerwaard.

Reudink, L. (2021). Quantifying the extra water inlet of a subsurface, water exchange system (SWES) in polder Spengen and polder Lange Weide using the SWAP-model. Thesis Utrecht University.

Van den Akker, J., Hendriks, R., Hoving, I.E., Meerkerk, B., van Houwelingen, K., van Kleef, J., Pleijter, M. (2013). Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard. Alterra.

Van den Eertwegh, G.A.P.H., van Beek, C.L. (2004). De vlietpolder in Zuid-Holland in beeld. Water- en Nutriëntenhuishouding van een veenweidegebied. STOWA.

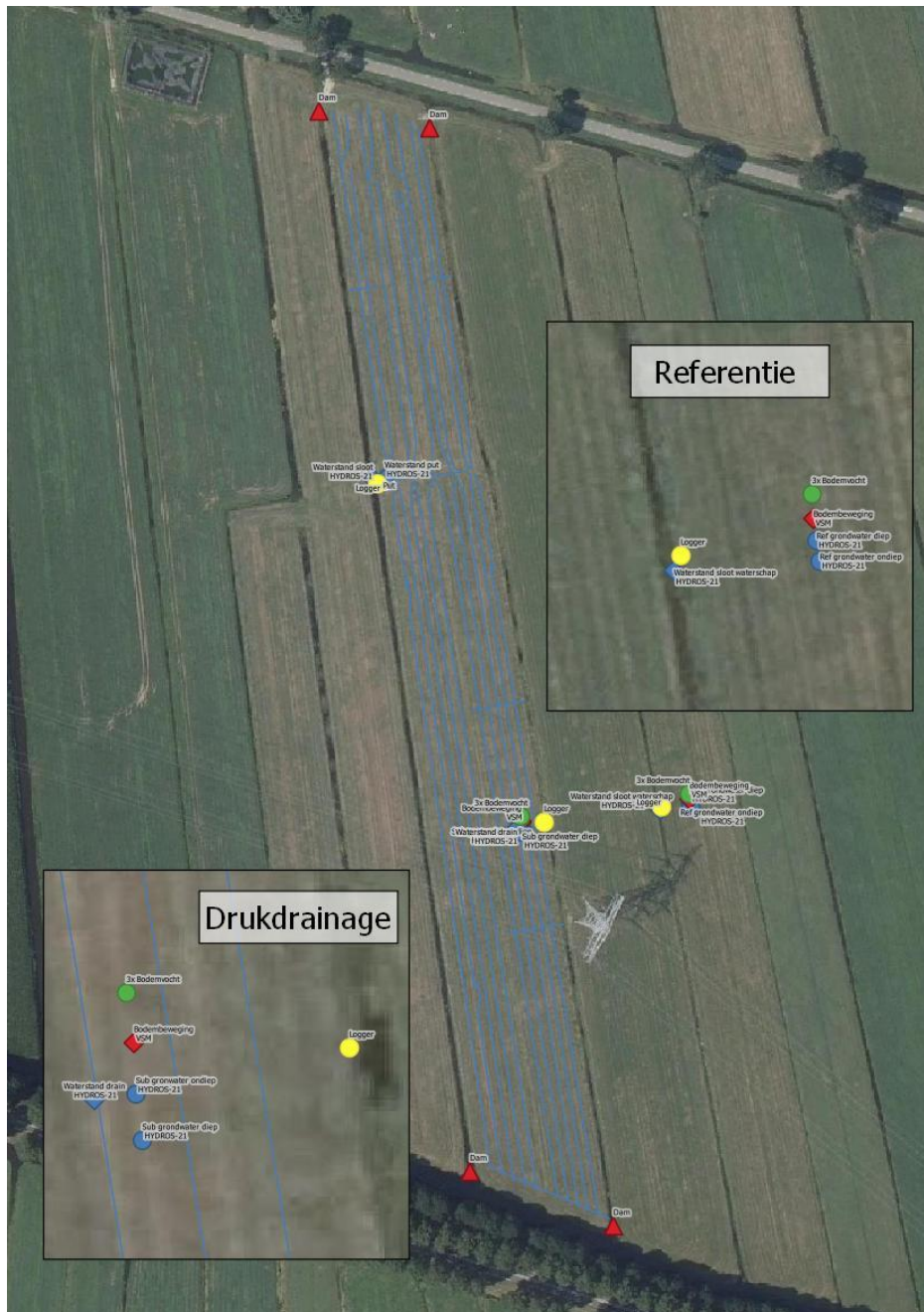
Voortman, B., van den Eertwegh, G. (2023). Hydrologische effecten PWIS en AWIS in het veenweidegebied. Verhoogde grondwaterstanden en gevolg voor watervraag op basis van Hydrus2D berekeningen 2015 t/m 2018. Moisture Matters en KnowH₂O.

8 Bijlagen

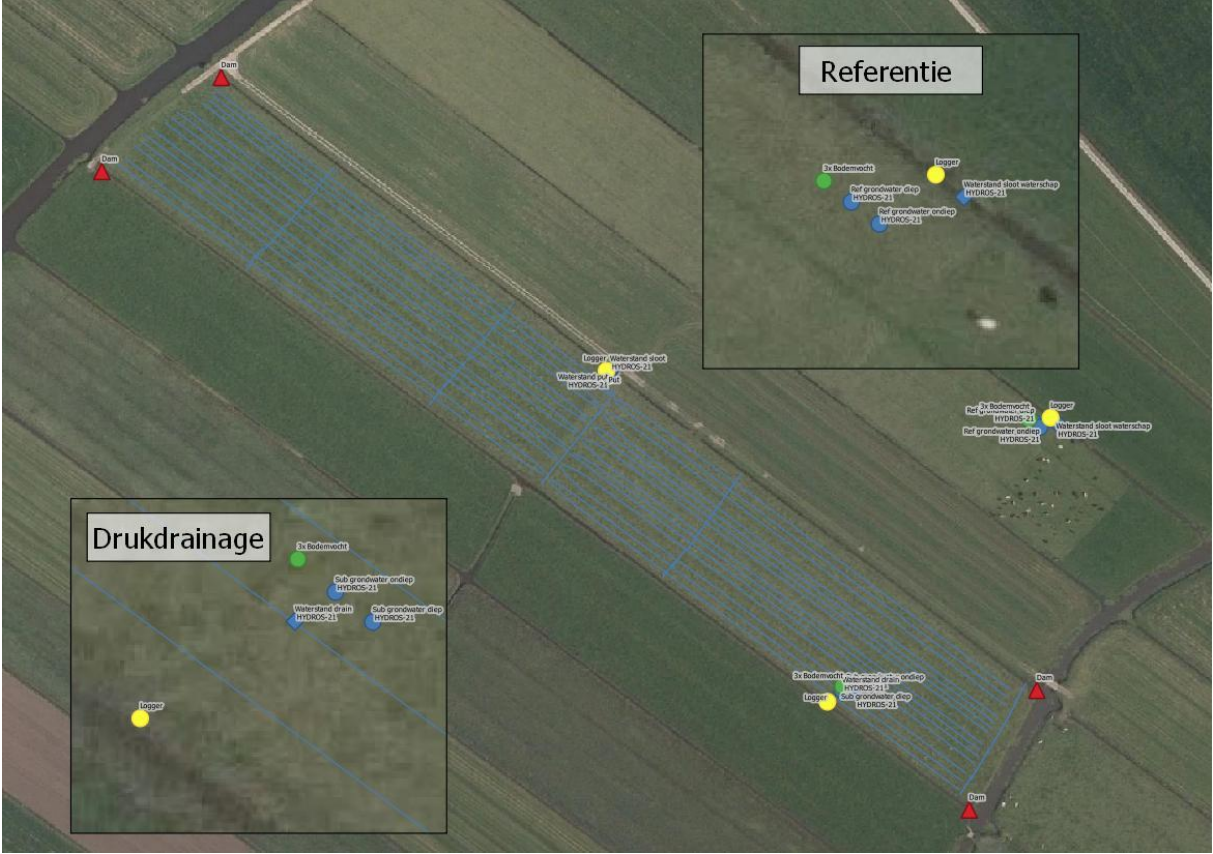
8.1 Kaarten van percelen

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)

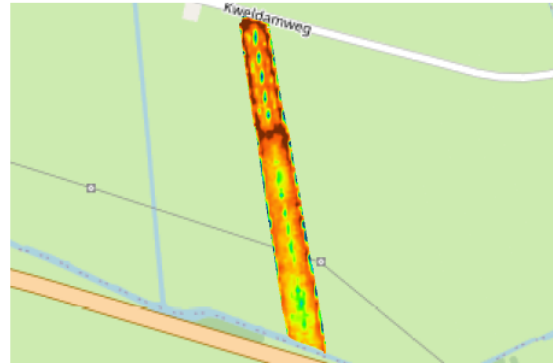
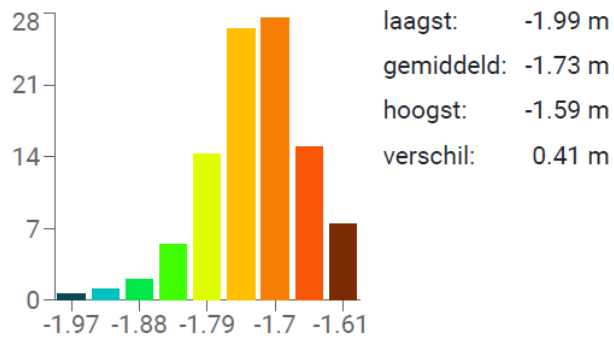


Mattias Verhoef (oppervlakte proefperceel 2,62 ha)



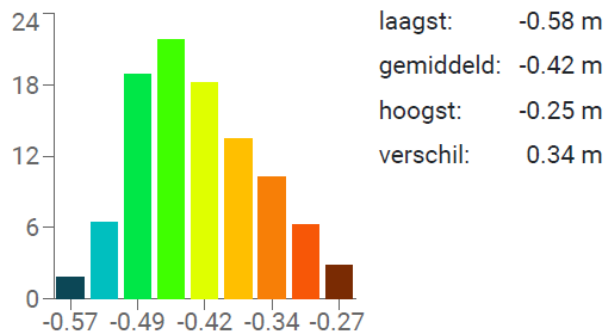
Maaiveldhoogte proefperceel Kees Baan. Bron: Boer en Bunder. Eenmaal drie greppels (noord) en een greppel (zuid) zichtbaar.

HOOGTE



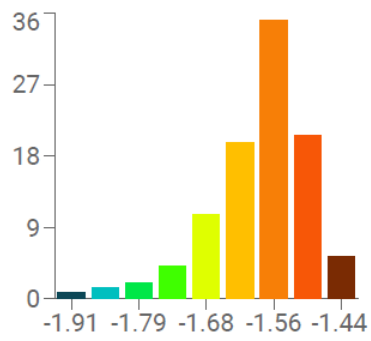
Maaiveldhoogte proefperceel Peter Heikoop. Bron: Boer en Bunder. Tweemaal drie greppels zichtbaar.

HOOGTE



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

HOOGTE

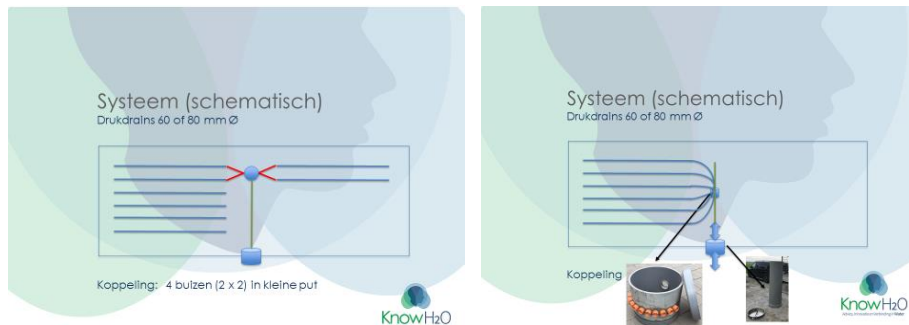


laagst: -1.94 m
gemiddeld: -1.59 m
hoogst: -1.41 m
verschil: 0.53 m



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.



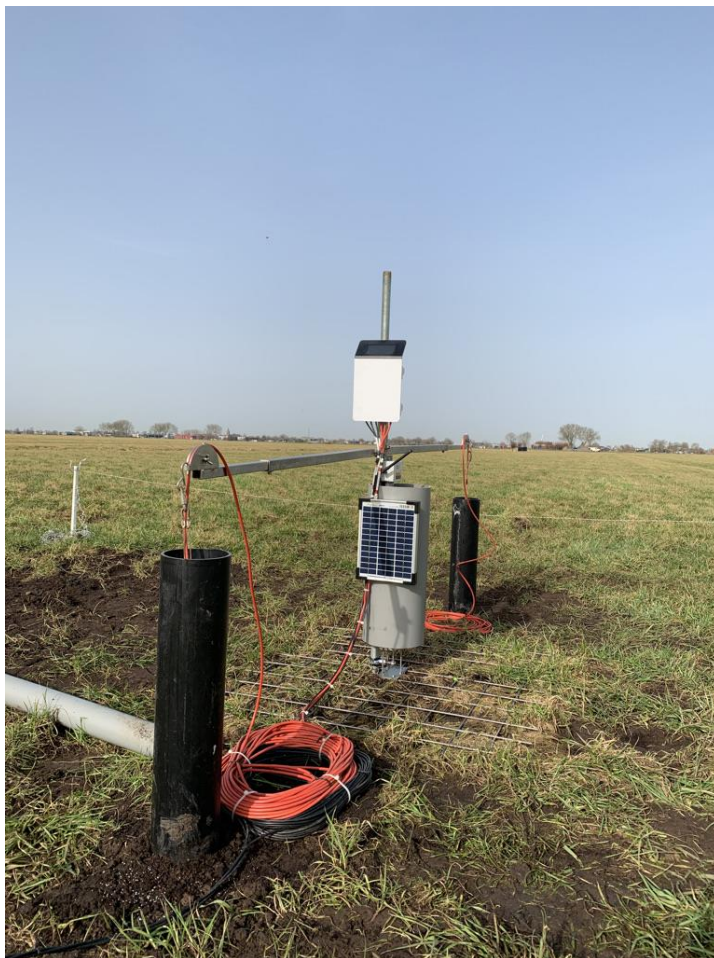
Figuur – Drukdrainage: schematische weergave koppeling drainagebuizen op dichte verzamelleiding.

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 verbindingsstuk in de verzamelleiding (links), ofwel gaan alle direct naar een centrale koppelput (Figuur 15). De verzamelleiding is verbonden met de put. Ook willen we de waterstand in het systeem op één of meerdere plekken kunnen meten, om te zien of het systeem werkt.

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 houden 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.



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	
ET ref MAK	<p>Referentiegewas-verdamping volgens Makkink</p> <p>Uit veldproeven is gebleken dat de verdamping van goed van water voorziene landbouwgewassen nauw samenhangt met de netto straling. Hiervan uitgaande stelden Priestley en Taylor (1972) de volgende formule op:</p> $\lambda E = \alpha \frac{s}{s + \gamma} (Q^* - G) \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (6)$ <p>waarin α een coëfficiënt is met een waarde van ongeveer 1,2 - 1,3.</p> <p>Voor grasland is G in het algemeen klein (zie o.a. De Bruin en Holtslag, 1982). Tijdens het groeiseizoen blijkt voor gras in Nederland dat de netto straling ongeveer 0,5 maal de inkomende kortgolvlige straling te zijn. Voor grasland, dat goed van water is voorzien, bracht Makkink dit in 1957 tot de opstelling van de volgende formule:</p> $\lambda E = C_1 \frac{s}{s + \gamma} K^{\dagger} + C_2 \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (7)$ <p>waarin: K^{\dagger} = globale stralingsstroombichtheid (W.m^{-2}) C_1 en C_2 = constanten</p> <p>MAKKINK, G.F., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. Journ. Int. of Water Eng., 11: 277-288.</p>	<p>KNMI: Meetmethode Makkink Zon, wind en temperatuur bepalen in hoge mate de grootte van de verdamping. In de zomer is de rol van de wind klein. Het is dan mogelijk om de verdamping nauwkeurig te berekenen uit de etmaalgemiddelde temperatuur en de dagelijkse hoeveelheid zonnestraling. De berekeningswijze van het KNMI op basis van deze grootheden heet de methode Makkink. (G.F. Makkink, 1957)</p>

Zie voor hydrologische begrippen: NHV (2002). Hydrologische Woordenlijst.

8.5 Betrokken partijen





© KnowH2O - 2024