



Statistische analyse veldexperimenten waterinfiltratiesystemen in het westelijke veenweidegebied van Nederland.

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

OPENBAAR
RAPPORT 1347



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Statistische analyse veldexperimenten waterinfiltratiesystemen in het westelijke veenweidegebied van Nederland

Rapportage veldonderzoeken die hebben plaatsgevonden in de periode 2004-2021

I.E. Hoving¹, J.W. van Riel¹, H.T.L. Massop², J.J.H. van den Akker² en K.M. van Houwelingen³

1 Wageningen Livestock Research

2 Wageningen Environmental Research

3 Kennis Transfer Centrum (KTC) Zegveld

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gefinancierd door het interne WUR programma KB34 Naar een Circulaire en Klimaatneutrale Maatschappij (2019-2022), project KB34-005-001 (Veengebieden in nieuwe circulaire en klimaatpositieve productiesystemen).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, juli 2023

Rapport 1347

Hoving, I.E., J.W. van Riel, H.T.L. Massop, J.J.H. van den Akker en K. van Houwelingen, 2023. *Statistische analyse veldexperimenten waterinfiltratiesystemen in het westelijke veenweidegebied van Nederland. Rapportage van veldonderzoeken die hebben plaatsgevonden in de periode 2004-2021*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1347.

Samenvatting NL

Voor de proeven met onderwaterdrains en pompgestuurde onderwaterdrains (drukdrains) die vanaf 2003 zijn uitgevoerd is een statistische analyse uitgevoerd op de gemeten grondwaterstanden (2004-2021) en de grasopbrengsten (2004-2015). De statistische analyse leverde voor de grondwaterstand relaties op om het effect van onderwaterdrains (al of niet pompgestuurd) te kwantificeren ten opzichte van een gangbare situatie zonder onderwaterdrains. Het effect van onderwaterdrains was voor het winter- en zomerhalfjaar gelijk (lineair verband). Drukdrains gaven ten opzichte van onderwaterdrains extra infiltratie in het zomerhalfjaar (exponentieel verband). Beperkende factoren voor de werking zijn instroom van vervuild water, een te grote drainafstand en drukverlies op het moment dat het waterpeil in de sloot en/of de toevoerregeling van drukdrains met de grondwaterstand meebewegen. De grasopbrengsten werden door onderwaterdrains onder bemeste omstandigheden niet of nauwelijks beïnvloed. Daar waar onderwaterdrains zorgden voor extra waterinfiltratie in het zomerhalfjaar en werd de stikstoflevering van de bodem verlaagd. Dit opbrengstverlagende effect werd gecompenseerd door een hogere stikstofbenutting (omzetting van stikstof uit de bodem en meststof in biomassa).

Summary UK

For the field trials with submerged drains and pump-controlled submerged drains (pressurised drains) that have been carried out since 2003, a statistical analysis has been carried out on measured groundwater levels (2004-2021) and grass yields (2004-2015). The statistical analysis yielded relationships for groundwater level to quantify the effect of submerged drains (whether or not pressurised) compared to a common situation without submerged drains. The effect of submerged drains was the same for the winter and summer half-year (linear relationship). Compared to submerged drains, pressurised drains gave extra infiltration in the summer half of the year (exponential relationship). Limiting factors for operation are inflow of polluted water, a too large drain distance and pressure loss at the moment the water level in the ditch and/or the supply control of pressurised drains moves in the same direction as the groundwater level. Grass yields were not or hardly influenced by submerged drains under fertilized conditions. Where submerged drains provided extra water infiltration during summer, the nitrogen supply from the soil was reduced. This yield-reducing effect was compensated by a higher nitrogen utilization (conversion of nitrogen from the soil and fertilizer into biomass).

Foto omslag: Veenweiden Innovatiecentrum (VIC) Zegveld

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/558180> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2023

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

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

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

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

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1347

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	11
2 Toepassing onderwaterdrains	13
3 Materiaal en methode	16
3.1 Experimenten	16
3.2 Bodemkarakteristiek proeflocatie	18
3.3 Proefopzet en aanleg drains	19
3.4 Grondwaterstandsbeheer drukdrains	31
3.5 Waarnemingen	34
3.6 Bemesting en teelt	35
3.7 GLG en GHG	36
3.8 Schatting maaiveldddaling en broeikasgasemissie	36
3.9 Statistische analyse	38
3.10 Neerslagtekort	40
4 Resultaten	44
4.1 Maaiveldhoogte	44
4.2 Drooglegging	45
4.3 Grondwaterstanden	47
4.3.1 Metingen	47
4.3.2 GHG en GLG	58
4.3.3 Statistische analyse	60
4.4 Schatting maaiveldddaling en broeikasgasemissie	66
4.5 Grasopbrengsten	69
4.5.1 Drogestofopbrengst	69
4.5.2 Stikstofopbrengst	72
4.5.3 Stikstofgehalte gras	75
5 Discussie	79
5.1 Maaiveldhoogte	79
5.2 Drooglegging	80
5.3 Grondwaterstanden	81
5.3.1 Metingen	81
5.3.2 GHG en GLG	84
5.3.3 Statistische analyse	84
5.3.4 Grondwaterstandsbeheer	85
5.4 Schatting maaiveldddaling en broeikasgasemissie	87
5.5 Grasopbrengsten	91
6 Conclusies en aanbevelingen	94
7 Bronnen	96
Bijlage 1 Bodeminventarisatie	100
Bijlage 2 Gevoeligheidsanalyse k-waarden	112
Bijlage 3 Plattegrond proeflocaties	116
Bijlage 4 Maaiveldhoogte	137

Bijlage 5	Grondwaterstanden per perceel	138
Bijlage 6	Modelfit per perceel	151
Bijlage 7	Grasopbrengst	159

Woord vooraf

In de afgelopen 19 jaar zijn verschillende veldexperimenten uitgevoerd om de hydrologische en landbouwkundige effecten van waterinfiltratie met onderwaterdrains en pompgestuurde onderwaterdrains (drukdrains) vast te stellen, als maatregel tegen het verminderen van maaivelddaling en broeikasgasemissie. Om te zien hoe de resultaten van deze experimenten zich tot elkaar verhouden is een statistische analyse over de experimenten heen uitgevoerd. Met de resultaten van de analyse kan het effect van onderwaterdrains op de grondwaterstand voor vergelijkbare veenlocaties ingeschat worden.

De statistische analyse en synthese van de resultaten is uitgevoerd in het kader van het Kennis Basis programma 34: Circulair en Klimaatneutraal Project KB-34-005-001 (Veengebieden in nieuwe circulaire en klimaatpositieve productiesystemen).

Het voorliggende rapport geeft inzicht in de potentie van de waterinfiltratiesystemen onderwaterdrains en drukdrains als vernattingsmaatregel om de veenafbraak te verminderen en daarmee de maaivelddaling en de bijdrage aan broeikasgasemissie te reduceren.

Ir. F.A.J. Gort
Afdelingshoofd Dierhouderijsystemen



Samenvatting

In het voorliggende rapport staan de resultaten van de experimenten die uitgevoerd zijn in de periode van 2004 tot en met 2021 om het effect van onderwaterdrains en drukdrains te onderzoeken op de grondwaterstand en de grasopbrengst. Over de experimenten heen is een statistische analyse uitgevoerd en het resultaat geeft inzicht in de potentie van waterinfiltratie met onderwaterdrains en drukdrains om de veenafbraak te verminderen en daarmee de maaiveld daling en de bijdrage aan broeikasgasemissie te reduceren.

Onderwaterdrains zijn drainbuizen (of infiltratiebuizen) die onder slootpeil worden aangelegd, om het watertransport van het oppervlaktewater naar het grondwater en vice versa te versnellen. De aanleiding voor het toepassen van onderwaterdrains is dat veenbodems een relatief slechte horizontale waterdoorlatendheid hebben, waardoor het watertransport in de bodem aanzienlijk geremd wordt. Doordat hemelwater via de bodem traag wordt afgevoerd stijgt bij een neerslagoverschot (neerslag groter dan verdamping) de grondwaterstand snel tot in het maaiveld. Omgekeerd is ook de infiltratie van water uit de sloot in de bodem beperkt en dit verlaagt de grondwaterstand bij een neerslagtekort (verdamping groter dan neerslag). De mate van waterdoorlatendheid verschilt per type veengrond en het verhogen van slootpeilen helpt onvoldoende voor extra wateraanvoer in percelen. Door het toepassen van onderwaterdrains wordt de beperkte horizontale grondwaterstroming als het ware kortgesloten, waardoor de infiltratie vanuit de sloot en de drainage naar de sloot toeneemt.

De werking van onderwaterdrains is sterk afhankelijk van het drukverschil tussen slootpeil en de grondwaterstand en de doorlatendheid van het veen. Met een dynamisch slootpeilbeheer kan, binnen de marges waarin peilaanpassingen mogelijk zijn, het drukverschil vergroot worden en met drukdrains kan het drukverschil nog verder vergroot worden. Hierbij worden de drainbuizen via een verzamelbuis aangesloten op een toevoerregeling die bestaat uit een waterreservoir, waarin met een pomp het waterpeil wordt gereguleerd om het drukverschil tussen het oppervlaktewater en het grondwater te beïnvloeden. Daarmee zijn in de zomer hogere grondwaterstanden te realiseren. Tijdens een neerslagoverschot kan ten behoeve van het graslandgebruik eventueel de grondwaterstand verlaagd worden.

Waterinfiltratie met onderwaterdrains wordt tegenwoordig Passief Waterinfiltratie Systeem (PWIS) genoemd en waterinfiltratie met pompgestuurde onderwaterdrains wordt Actief Waterinfiltratie Systeem (AWIS) of drukdrains genoemd. In dit rapport worden de termen Onderwaterdrains en Drukdrains gebruikt.

De bedoeling van het verhogen van de grondwaterstand met waterinfiltratie is het beperken van de indringing van zuurstof in de bodem. Zuurstof komt nauwelijks verder in de bodem dan het grondwaterniveau, waardoor het verhogen van de grondwaterstand de zuurstofindringing beperkt. Zuurstof geeft oxidatie (afbraak) van het veen en leidt daarmee tot de uitstoot van het broeikasgas koolzuur (CO₂) en tot bodemdaling. Beide worden maatschappelijk ongewenst gevonden.

Op melkveeproefbedrijf Zegveld (het huidige KTC Zegveld) is in 2004 tot en met 2007 een veldproef uitgevoerd om te zien of onderwaterdrains effect hebben op het verloop van de grondwaterstand. Het onderzoek is uitgevoerd bij een hoog slootpeil van 20 cm en een lager slootpeil van 55 cm beneden maaiveld en de drainafstand is gevarieerd (4-8-12 m). Vervolgens zijn proeven met onderwaterdrains uitgevoerd in polder Zeevang te Hobrede en Kwadijk (2007-2010) en Warder (2012-2014).

Als volgende ontwikkelstap is op KTC Zegveld de werking van onderwaterdrains in combinatie met dynamisch slootpeilbeheer onderzocht (2011-2016). Als derde ontwikkelstap is eveneens op KTC Zegveld de werking van drukdrains onderzocht (2016-2021). In dit onderzoek waren ook onderwaterdrains als behandeling meegenomen. In het kader van het Innovatie Programma Veen (IPV) zijn drukdrains onderzocht onder praktijkomstandigheden bij gangbaar graslandgebruik op een melkveebedrijf te Assendelft en bij graslandgebruik met een natuurdoelstelling te Nauerna (2018-2021).

De streefgrondwaterstand in de proeven met drukdrains was op locatie Zegveld 40 cm, op locatie Assendelft aanvankelijk 40 cm (2018) en later 30-35 cm (2019-2021) en op locatie Nauerna 20 cm beneden maaiveld. In de veldproeven was het slootpeilbeheer de hoofdbehandeling en wel of geen onderwaterdrains of drukdrains de subbehandeling om het effect op de grondwaterstand te bepalen. In de onderzoeken op locatie Zegveld naar onderwaterdrains met vaste slootpeilen en dynamisch slootpeilbeheer is als tweede subbehandeling de drainafstand gevarieerd.

Per ontwikkelstap is een statistische analyse over de experimenten heen uitgevoerd. Daarbij zijn onderwaterdrains en drukdrains vergeleken met een referentiesituatie zonder drains. De analyse is zodanig uitgevoerd dat de resultaten te veralgemeniseren zijn en gebruikt kunnen worden om effecten op de grondwaterstand te voorspellen voor vergelijkbare veenlocaties. Tevens is een statistische analyse over proeven heen uitgevoerd voor de gemeten grasopbrengsten. Dit geeft een beeld van het effect van extra waterinfiltratie op de grasopbrengst en dat is belangrijke informatie voor het vaststellen van de kosten en baten van een investering in een waterinfiltratiesysteem.

De statistische modelanalyse leverde relaties op om het effect van de inzet van onderwaterdrains en drukdrains te kwantificeren ten opzichte van een gangbare situatie (referentie) zonder onderwaterdrains. In de vergelijking tussen de drainbehandelingen en de referentie is de gemiddelde grondwaterstand van de referentie over de gehele onderzoeksperiode als het normatieve referentieniveau gekozen. De grondwaterstanden lieten een cyclisch verloop zien, met in de winter relatief hoge en in de zomer relatief lage grondwaterstanden. De cyclus wordt gekarakteriseerd door de grootte van de amplitude, het verschil tussen de gemiddelde grondwaterstand en de gemiddeld hoogste grondwaterstand in de winter of gemiddeld laagste grondwaterstand in de zomer.

Daar waar drukdrains en onderwaterdrains goed functioneerden hadden deze zowel een significant groter infiltrerend als drainerend effect ten opzichte van de referentie. Het effect van onderwaterdrains was voor de winter en zomer gelijk. Voor onderwaterdrains (wanneer significant) werd de amplitude van het grondwaterstandsverloop gemiddeld met 23% verlaagd ten opzichte van de referentie ('s zomers een hogere en 's winters een lagere grondwaterstand). In combinatie met een dynamisch slootpeilbeheer werd de werking van onderwaterdrains versterkt en werd de amplitude van het grondwaterverloop gemiddeld met 25% verlaagd. Drukdrains gaven ten opzichte van onderwaterdrains extra infiltratie in de zomer (exponentieel verband). Voor drukdrains was de grondwaterstand in de zomer gemiddeld 55% hoger en in de winter 25% lager (vergelijkbaar met onderwaterdrains) dan die van de referentie, bij een grondwaterstand voor de referentie die respectievelijk 25 cm lager en 25 cm hoger was dan het gemiddelde (normatieve) grondwaterniveau.

De schatting van de effecten voor drukdrains was relatief conservatief ten opzichte van het potentiële effect, doordat tegenwoordig voor een kleinere drainafstand wordt gekozen (geeft een groter effect) en op een aantal percelen de instelling en werking van de waterinfiltratie verlaat was ten opzichte van de aanvang van de metingen. Aangezien de betreffende percelen deel uitmaakten van een praktijkproef en om geen ongebalanceerde dataset te krijgen, zijn deze data wel meegenomen in de analyse. Het verschil in weerjaren had invloed op het grondwaterstandsverloop en de analyseresultaten. Des te korter de meetperiode des te groter het effect hiervan zal zijn.

In Tabel 1 staat het percentage verhoging en verlaging van de grondwaterstand in respectievelijk de zomer en winter, het neerslagtekort (positieve getallen geven een overschot aan) en de meest waarschijnlijke beperkende factoren voor de werking van de drains per locatie per perceel.

De extra infiltrerende werking van drukdrains geeft veel perspectief voor het reduceren van maaiveldaling en CO₂-emissie. Wel is een dergelijk infiltratiesysteem gevoelig voor vervuiling met bagger en dit pleit voor het doelgericht inzetten van de drains, met een zorgvuldige aansturing en controle van het systeem. Voorkomen moet worden dat bagger het waterreservoir en de drains instroomt door voorzieningen te treffen bij de waterinlaat. In de onderzoeken naar de toepassing van onderwaterdrains op locatie Zegveld had een kleinere drainafstand een groter effect op de grondwaterstand. De drainafstand dient voor zowel onderwaterdrains als drukdrains bij voorkeur 4 m te zijn conform de KIWA-richtlijnen.

Om met onderwaterdrains extra infiltratie in de zomer te realiseren is het advies om het slootpeil niet lager te laten zijn dan 35-40 cm onder maaiveldniveau. Voor drukdrains dient het slootpeil bij voorkeur gelijk of hoger te zijn aan de streefgrondwaterstand om het terugstromen van ingepompt water via de bodem naar de sloot te voorkomen. Verder is het belangrijk om drukverlies, door daling van het peil van het oppervlaktewater en/of in de toevoerregeling van drukdrains, te voorkomen.

In het onderzoek naar het effect van onderwaterdrains op de grasopbrengst zijn opbrengsten gemeten met (N1) en zonder (N0) stikstofbemesting, terwijl de bemesting voor kali en fosfaat gelijk gehouden is. Gekeken is naar de drogestof- en stikstofopbrengst. De stikstofopbrengst zonder stikstofbemesting (N0-behandeling) vertegenwoordigt de stikstoflevering door de bodem (NLV) en is afhankelijk van de mate van mineralisatie. De mineralisatie wordt beïnvloed door de bodemvochttoestand. De drooglegging en het wel of niet toepassen van onderwaterdrains zijn hier belangrijke factoren in. Daar waar onderwaterdrains zorgden voor extra waterinfiltratie in het zomerhalfjaar verlaagde de stikstoflevering van de bodem en verhoogde de stikstofbenutting (omzetting van beschikbare stikstof uit de bodem en bemesting in biomassa). De hogere stikstofbenutting compenseerde de verlaging van de NLV. Uiteindelijk was het netto effect op de grasproductie onder bemeste omstandigheden relatief beperkt.

Tabel 1 Percentage verhoging en verlaging van de grondwaterstand in respectievelijk de zomer en winter (percentages in rood geven aan dat de verschillen significant waren), neerslagtekort (positieve getallen geven een overschot aan) en de meest waarschijnlijke beperkende factoren voor de werking van onderwaterdrains of drukdrains per locatie per perceel.

Locatie	Periode	Proefveld	Slootpeil-beheer	Drainafstand (m)	Hogere grondwaterstand zomer (%)	lagere grondwaterstand winter (%)	Neerslagtekort (mm.jaar ⁻¹)	Meest waarschijnlijke beperkende factoren
Onderwaterdrains met vaste slootpeilen								
Hobrede	2007-2010	9	'laag'	6	5	5	392	Te ruime drainafstand
Kwadijk	2007-2010	3	'laag'	6	7	7	392	Te ruime drainafstand
Warder	2012-2014	12-13	'midden'	4	22	22	307	Geen beperking
		21-22	'laag'	4	25	25	307	Geen beperking
Zegveld 0	2004-2007	11-13	'hoog'	4-8-12	19	19	305	Geen beperking
		2-3	'laag'	4-8-12	25	25	305	Geen beperking
Zegveld 1	2008-2015	11-13	'hoog'	4-8	0	0	263	Vervuiling/verstopping
		2-3	'laag'	4-8	3	3	263	Vervuiling/verstopping
Zegveld	2016-2021	13	'hoog'	6	12	12	247	Vervuiling/verstopping
		14	'hoog'	6	24	24	247	Goede omstandigheden
		15	'laag'	6	8	8	247	Invloed hoogwatersloot
		16	'laag'	6	20	20	247	Goede omstandigheden
Onderwaterdrains met dynamische slootpeilen								
Zegveld	2011-2016	7b-8b	Winter hoog	4-8	22	22	287	Geen beperking
	2011-2013	ZW1-VO2	Winter laag	4-8	28	28	311	Geen beperking
Drukdrains								
Assendelft	2018-2021	1	'laag'	4	83	52	258	Geen beperking
		2	'laag'	4	53	23	258	Vervuiling en/of verstopping
		4-6 ¹⁾	'laag'	4	49	19	258	Late start en drukverlies
Nauerna	2018-2021	7 ²⁾	'hoog'	4	37	6	258	Late start en drukverlies
Zegveld	2016-2021	13-14	'hoog'	6	55	25	247	Verschil maaiveldhoogte tussen percelen met dezelfde toevoerregeling
		15-16	'laag'	6	59	28	247	Verschil maaiveldhoogte tussen percelen met dezelfde toevoerregeling

¹⁾ Pas vanaf augustus 2019 kon actief geïnfiltreerd worden

²⁾ Pas vanaf juli 2018 kon actief geïnfiltreerd worden. Geen consequente aansturing met drukverlies als gevolg.

1 Inleiding

Om maaiveldddaling tegen te gaan en de emissie van het broeikasgas koolzuur (CO₂) te verminderen zijn vanaf 2003 in het westelijk veenweidegebied meerdere veldproeven met waterinfiltratie uitgevoerd als maatregel om de bodem te vernatten en zuurstofindringing te verminderen. Maaiveldddaling en broeikasgasemissie worden maatschappelijk ongewenst gevonden. Zuurstof komt nauwelijks verder in de bodem dan tot het grondwaterniveau en daarom wordt het verhogen van de grondwaterstand als doeltreffende maatregel beschouwd om zuurstofindringing te beperken.

Op proefbedrijf Zegveld is in 2004 een proef gestart met zogenaamde onderwaterdrains, drainbuizen die worden aangelegd onder slootpeil en zowel water vanuit oppervlaktewater naar de bodem kunnen aanvoeren als water van de bodem naar oppervlaktewater kunnen afvoeren (Hoving et al., 2008). Dit was de eerste in een reeks van proeven en pilots die als doel hadden ervaring in de praktijk op te doen met onderwaterdrains en de effecten van toepassing ervan op onder andere de grondwaterstand (Hoving et al., 2008, 2011, 2013, 2015, 2018, 2021 en 2022), maaiveldddaling (Van den Akker et al., 2018a, b), watergebruik, waterkwaliteit, economie (Van den Akker et al., 2013; Hoving et al., 2015 en 2020; Van Hardeveld et al., 2018) en weidevogels (Deru et al., 2014) te onderzoeken. Watergebruik en waterkwaliteit zijn vooral met modelstudies onderzocht (Jansen et al., 2009; Querner et al., 2012; Hendriks en Van den Akker, 2012; Van den Akker et al., 2013; Hendriks et al., 2014a, b).

In de proef die in 2004 op proefbedrijf Zegveld startte (Hoving et al., 2008), hadden twee percelen een hoog slootpeil van 20 cm -mv (11 en 13) en twee percelen een laag slootpeil van 55 cm -mv (2 en 3). Statistisch is aannemelijk gemaakt dat onderwaterdrains zowel draineren als infiltreren. Het effect bleek afhankelijk van het slootpeil: het lage peil bevorderde de drainerende werking en het hoge peil bevorderde de infiltrerende werking. In het algemeen waren de effecten groter bij een kleinere drainafstand. Verwacht werd dat bij het toepassen van onderwaterdrains bij een slootpeil van 35 à 40 cm -mv een vergelijkbaar infiltrerend effect gevonden zou worden als bij een hoog slootpeil zonder onderwaterdrains, terwijl het drainerend effect vergelijkbaar zou zijn met dat van een laag slootpeil zonder onderwaterdrains.

Maaiveldhoogtemetingen (Van den Akker et al., 2018a, b) wezen uit dat de maaiveldddaling kon worden gehalveerd ten opzichte van een situatie met een laag peil. Van twee percelen is de maaiveldddaling tussen 2003 en 2016 gevolgd, te weten perceel Zegveld 3 (laag slootpeil van 55 cm-mv) en perceel Zegveld 13 (hoog slootpeil van 20 cm -mv). Bij perceel 3 met laag peil is een halvering van de maaiveldddaling aangetoond en bij perceel 13 met hoog peil nam de maaiveldddaling met twee derde af tot ca. 1 mm per jaar.

In polder Zeevang (Kwadijk en Hobrede) is onderzoek gedaan naar de praktijktoepassing van onderwaterdrains (Hoving et al., 2011). Evenals bij het onderzoek op proefbedrijf Zegveld bleek dat de amplitude van de seizoensfluctuatie van de grondwaterstand significant werd verkleind door onderwaterdrains. De hoogte van het slootpeil bleek cruciaal te zijn voor effect van de drains op de grondwaterstand. Op proefbedrijf Zegveld is in 2011 en 2012 in een tweede ontwikkelstap een proef uitgevoerd om met een dynamisch slootpeil de grondwaterstanden effectiever te verhogen (Hoving et al., 2013). Statistische analyse wees uit dat dynamisch peilbeheer de invloed van onderwaterdrains op de grondwaterstanden en onderwaterdrains vergrootte. In polder Zeevang (Warder) vond in 2012 en 2014 een veldonderzoek plaats naar de toepassing van onderwaterdrains op veengrond bij drie slootpeilregimes, te weten vast hoog peil, vast laag peil en zomer- en winterpeil (Hoving et al., 2015). De drains verlaagden de amplitude van de seizoensfluctuatie van grondwaterstanden significant. Het toepassen van een zomer- en winterpeil vergrootte de infiltratie, maar tijdens natte perioden in het groeiseizoen leverden onderwaterdrains bij een peil van 40 cm -mv geen extra waterafvoer, wat voor boeren een belemmering kan zijn om in onderwaterdrains te investeren.

Om het effect van onderwaterdrains te vergroten zonder met het slootpeil te hoeven sturen is, in een derde ontwikkelstap, op proefbedrijf KTC Zegveld onderzoek gedaan naar het actief sturen van de grondwaterstand

met pompgestuurde onderwaterdrains (Hoving et al., 2018 en 2021). Daarbij komen de onderwaterdrains niet meer in de sloot uit maar in een waterreservoir, waar water in en uit wordt gepompt om zo de grondwaterstand optimaal te kunnen sturen om maaiveldaling en broeikasgasemissie te beperken. Het onderzoek is uitgevoerd op twee percelen bij een hoog slootpeil (20 cm -mv; perceel 13 en 14) en een laag slootpeil (55 cm -mv; 15 en 16), waarbij een grondwaterstand van 40 cm -mv werd nagestreefd. In beide jaren bleek zowel het infiltrerende als het drainerende effect van pompgestuurde onderwaterdrains aanmerkelijk groter dan bij onderwaterdrains op de sloot. Het resultaat van de pompaansturing was onafhankelijk van het slootpeil.

In Noord-Holland is de toepassing van pompgestuurde onderwaterdrains onder praktijkomstandigheden onderzocht op een pilotbedrijf te Assendelft en op een natuurgrasperceel van Landschap Noord Holland in polder Zuiderveen te Nauerna (Hoving et al., 2022). Op het pilotbedrijf werd een streefgrondwaterstand van 30 á 35 cm beneden maaiveld gehanteerd en in polder Zuiderveen was de streefgrondwaterstand 20 cm beneden maaiveld. Het onderzoek in polder Zuiderveen had als nevensdoel te zien in hoeverre natuurwaarden vergroot konden worden door de extra vernatting. Het aanleggen van deugdelijke waterreservoirs en het realiseren van een goed functionerende aansturing van de pompen was aanvankelijk een beperking in het onderzoek. Voor de proefpercelen waar dit op orde was, kon in het groeiseizoen de grondwaterstand op substantieel en significant hoger peil gehouden worden dan op de referentiepercelen zonder waterinfiltratiesysteem. Op het pilotbedrijf leverde de gehanteerde streefgrondwaterstand van 30 á 35 cm beneden maaiveld geen beperking op voor het graslandgebruik.

Waterinfiltratie met onderwaterdrains wordt tegenwoordig Passief Waterinfiltratie Systeem (PWIS) genoemd en waterinfiltratie met pompgestuurde onderwaterdrains wordt Actief Waterinfiltratie Systeem (AWIS) of drukdrains genoemd. In dit rapport worden de termen Onderwaterdrains en Drukdrains gebruikt.

Per ontwikkelstap is een statistische analyse over de experimenten heen uitgevoerd. Daarbij zijn onderwaterdrains vergeleken met een referentiesituatie zonder drains. Een overzicht van de experimenten die zijn geanalyseerd staat in Tabel 2.

Tabel 2 *Locatie, periode en droogleggingen van de geanalyseerde experimenten met onderwaterdrains en drukdrains (2004-2021).*

Onderwaterdrains (PWIS)		Drukdrains (AWIS)	
Locatie en periode	Drooglegging (cm)	Locatie en periode	Drooglegging (cm)
Zegveld (2004-2007)	17 / 53	Zegveld (2018-2021)	20 / 55
Zegveld (2008-2015)	16 / 54 / Dynamisch peil	Assendelft (2018-2021)	42 / 53-60
Hobrede (2007-2010)	54	Nauerna	40-45
Kwadijk (2007-2010)	51		
Warder (2012-2014)	34 / 52		

De analyse is zodanig uitgevoerd dat de resultaten te veralgemeniseren zijn en gebruikt kunnen worden om effecten op de grondwaterstand te voorspellen voor vergelijkbare veenlocaties. Een vergelijkbare analyse over proeven heen is uitgevoerd voor de grasopbrengsten.

Dit geeft een beeld van het effect van extra waterinfiltratie op de grasopbrengst en is belangrijke informatie voor het vaststellen van inkomens- en vermogensschade als gevolg van vernatting.

De statistische analyse over de experimenten heen geeft inzicht in de potentie van waterinfiltratie met onderwaterdrains en drukdrains als vernattingsmaatregel om de veenafbraak te verminderen en daarmee de maaiveldaling en de bijdrage aan broeikasgasemissie te reduceren.

2 Toepassing onderwaterdrains

Veenafbraak en de hiermee gepaard gaande maaiveld daling en CO₂-emissie wordt in potentie gereduceerd door een zo hoog mogelijke grondwaterstand te realiseren. Het verhogen van het slootpeil is hiervoor niet afdoende. Door een relatief slechte horizontale doorlatendheid (k-waarde) van veenbodems wordt het watertransport in de bodem aanzienlijk geremd, waardoor op enige afstand van sloten de grondwaterstand ver kan dalen gedurende het zomerhalfjaar en slootpeilveranderingen maar een kleine impact hebben. De mate van doorlatendheid verschilt per type veengrond. Door drainagebuizen onder het slootpeil aan te leggen (onderwaterdrains) infiltreert water gemakkelijk vanuit de sloot richting het midden van het perceel en draineert water van de bodem gemakkelijker naar de sloot. De buisdrains liggen daarbij op 70 à 75 cm beneden maaiveld en ten minste 15 cm onder het slootpeil. Een afbeelding van een onderwaterdrain staat in Figuur 2.1.



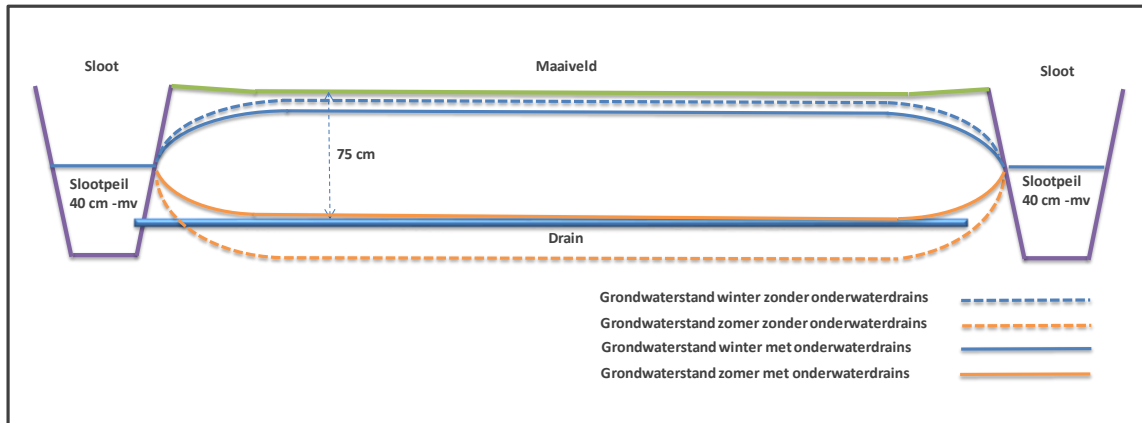
Figuur 2.1 *Onderwaterdrain op 70 à 75 cm beneden maaiveld, ten minste 15 cm onder het slootpeil voor het aan- en afvoeren van water in de bodem onder grasland.*

De aanleg van onderwaterdrains is vanuit maatschappelijk perspectief gunstig om de maaiveld daling te kunnen verminderen en is vanuit landbouwkundig perspectief gunstig om de draagkracht van de graszode voor beweiding en berijding met machines niet te laten verslechteren. Het verminderen van maaiveld daling van landbouwgrond, zeker bij toepassing van onderbemaling, wordt maatschappelijk steeds belangrijker om het toenemende verschil met hoogwaterzones (bebouwing en infrastructuur) te verminderen. Het peilbeheer raakt steeds verder versnipperd, waardoor het peilbeheer wordt bemoeilijkt en de kosten toenemen. Dit vraagt om relatief hoge slootpeilen. Daarentegen is vanuit de melkveehouderijsector, die het merendeel van het veenweideareaal in gebruik heeft, vernatting erg ongewenst omdat dit in natte perioden de draagkracht van de graszode verlaagt. Dit is nadelig voor het graslandgebruik en verhoogt de kosten, waardoor het bedrijfsinkomen onder druk komt te staan.

In het onderzoek naar de hydrologische en landbouwkundige effecten van onderwaterdrains op veengrond zijn een aantal ontwikkelstappen doorlopen.

De eerste stap was om te zien of met onderwaterdrains daadwerkelijk de aanvoer van water (infiltratie) en de afvoer van water (drainage) in de bodem bevorderd kon worden.

Gebleken is dat het toepassen van onderwaterdrains in het westelijk veenweidegebied (voornamelijk mesotrofe ondergrond) grondwaterstanden een significant vlakker verloop hebben (Hoving et al., 2008, 2011, 2013, 2015; Van de Akker et al., 2013). Dit betekent een kleiner verschil tussen de relatief hoge wintergrondwaterstanden en de relatief lage zomergrondwaterstanden. De aanleg van onderwaterdrains en het gewenste nivellerende effect op de gemiddelde winter- en zomergrondwaterstand is geïllustreerd in Figuur 2.2.



Figuur 2.2 Dwarsdoorsnede van een perceel en belendende sloten met een gemiddelde winter- en zomergrondwaterstand met en zonder onderwaterdrains ter illustratie van het gewenste nivellerende effect van onderwaterdrains op de grondwaterstand.

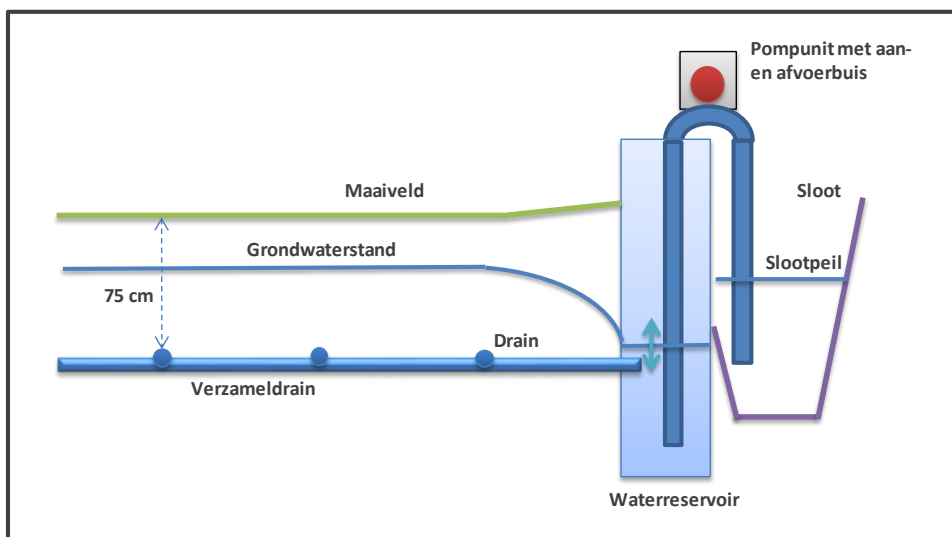
Een hoog slootpeil bevordert de infiltratie en een laag slootpeil bevordert de drainage. Dit betekent dat voor een optimale werking van de drains het peil gevarieerd zou moeten kunnen worden afhankelijk van het neerslagbeeld. Het toepassen van een zomer- en winterpeil komt hieraan deels tegemoet, aangezien gemiddeld in het winterhalfjaar er sprake is van een neerslagoverschot en in de zomer van een neerslagtekort. Als tweede stap is zodoende gekeken hoe het effect op het verminderen van maaiveldvaling versterkt kan worden door middel van een hoger zomerpeil en dynamisch slootpeilbeheer. Dit betekende dat in het groeiseizoen hogere slootpeilen gehanteerd werden om de infiltratie van oppervlaktewater in de bodem te bevorderen.

In een onderzoek op KTC Zegveld is in 2011 tot en met 2016 een vorm van dynamisch peilbeheer toegepast, om te zien of het watermanagement bij toepassing van onderwaterdrains verder verfijnd kon worden. Daarbij werd als basis in het groeiseizoen een hoog slootpeil gehanteerd en werd alleen bij het gebruik van de betreffende percelen het peil verlaagd. De eerste twee proefjaren zijn gerapporteerd in Hoving et al. (2013). Het onderzoek toonde aan dat op deze manier de grondwaterstand op een relatief hoog peil gehouden kan worden. In de loop van het onderzoek bleek het echter veel praktischer om het slootpeil te sturen op basis van de actuele grondwaterstand. Daarbij werden hoge slootpeilen gehanteerd op het moment dat het droog was en de grondwaterstand daalde (neerslagtekort) en werden lage slootpeilen gehanteerd op het moment dat het nat was en de grondwaterstand steeg (neerslagoverschot). Het aantal peilwisselingen was hierdoor veel geringer dan wanneer ook rekening werd gehouden met het gebruik van percelen. Een dynamisch slootpeilbeheer had echter als belangrijk nadeel dat het de stabiliteit van de slootkanten aantastte en dat wisselende waterpeilen niet bevorderlijk waren voor de ecologie van de sloot. Gegeven deze nadelen is een vorm van dynamisch grondwaterpeilbeheer wenselijk waarbij het slootpeil niet (of minder) gevarieerd hoeft te worden.

Als derde stap in de toepassing van onderwaterdrains zijn in 2016 op KTC Zegveld drukdrains geïntroduceerd om te zien of ten opzichte van onderwaterdrains op de sloot het infiltrerende en drainerende effect verder versterkt kon worden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een waterreservoir waar de drainbuizen via een verzamelrain op aangesloten worden.

De drains staan bij deze toepassing niet meer rechtstreeks in verbinding met het oppervlaktewater, maar komen samen in het reservoir. Het reservoir wordt tussen de drains en de sloot geplaatst en met een pomp kan in het reservoir de gewenste ontwateringsbasis gerealiseerd worden onafhankelijk van het slootpeil.

Met een relatief laag en hoog peil kan respectievelijk de drainerende en infiltrerende werking sterk vergroot worden. De aanleg van drukdrains is geïllustreerd in Figuur 2.3. Uit onderzoek op KTC Zegveld (2016-2020) en in het Innovatie Programma Veen (2018-2021) bleek hiermee zowel de infiltrerende werking als de drainerende werking significant te worden vergroot (Hoving et al., 2021 en 2022). Daarbij werd infiltratie relatief meer bevorderd dan de drainage door op een grondwaterstand van 35 cm beneden maaiveld te sturen.



Figuur 2.3 Dwarsdoorsnede van een perceel met drukdrains waarbij de toevoerregeling bestaat uit een pompunit met een aan- en afvoerbuis en een waterreservoir waarin de ontwateringsbasis geregeld wordt.

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

De streefgrondwaterstand bepaalt uiteindelijk de mate van vernatting die optreedt en het potentiële reducerende effect op maaiveld daling en emissies van CO₂ en N₂O.

3 Materiaal en methode

3.1 Experimenten

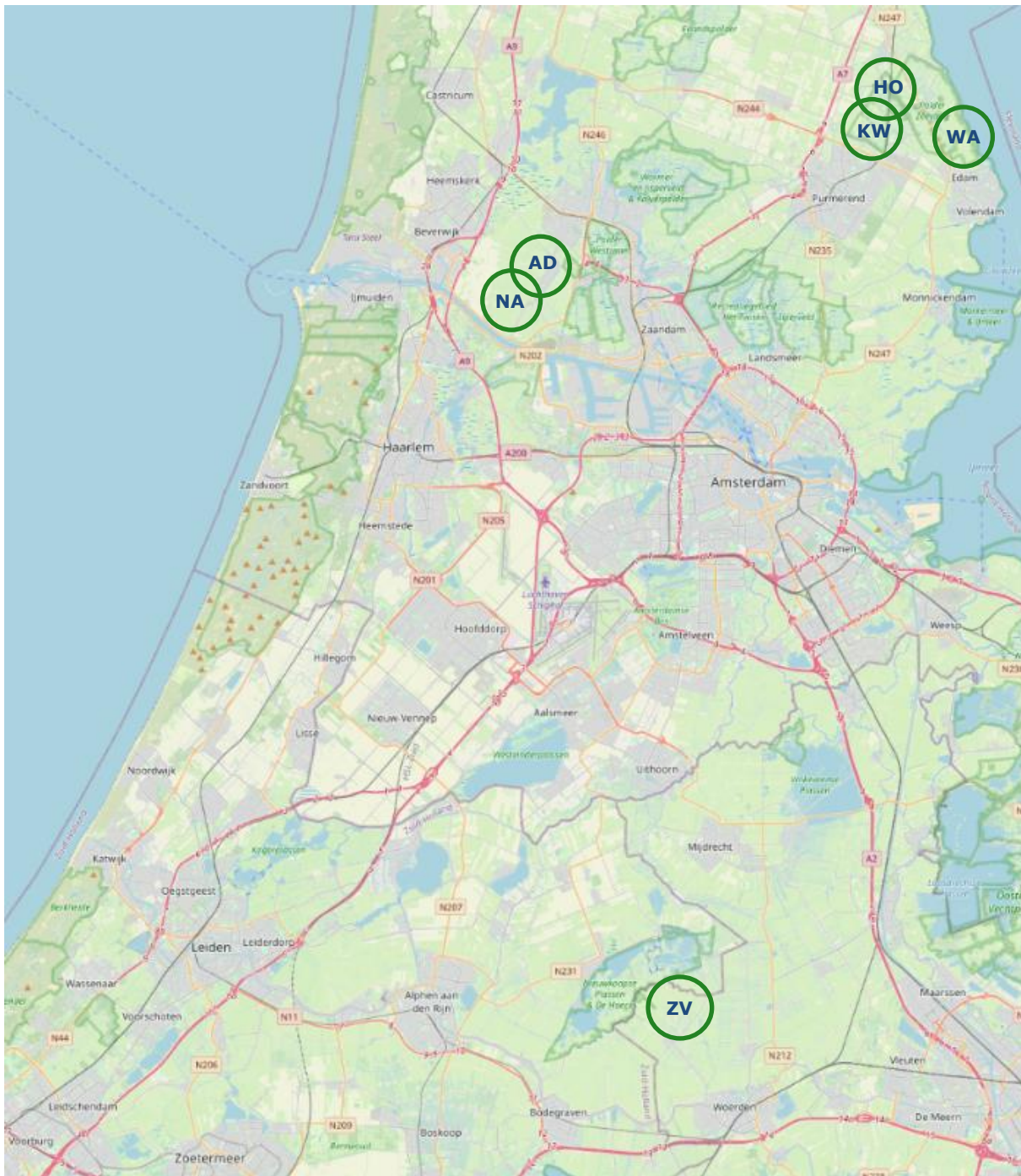
De veldproeven die voor de algemene analyse over experimenten heen zijn gedaan staan in Tabel 3. Daarbij is per proef aangegeven waar en in welke jaren die heeft plaatsgevonden, op welke wijze het slootpeilbeheer en de waterinfiltratie werd uitgevoerd, welke drainafstand werd gehanteerd en of grasopbrengsten zijn bepaald. Voor wat betreft slootpeilbeheer is onderscheid gemaakt in de slootpeilen 'laag' (50-60 cm), 'midden' (30-40), 'hoog' (10-20) en dynamisch slootpeilbeheer met een hoog winterpeil (10-20) en een laag winterpeil (40-50). In de veldproeven waren de behandelingen slootpeilbeheer en wel of geen onderwaterdrains (al of geen drukdrains) om het effect van waterinfiltratie op de grondwaterstand en grasopbrengst te kunnen bepalen.

Op het proefbedrijf te Zegveld is in 2004 de eerste veldproef met onderwaterdrains gestart. Het onderzoek liep tot en met 2007 (Zegveld 0), maar de monitoring van de grondwaterstanden werd op de percelen PR02, PR03, PR11 en PR13 vervolgd (Zegveld 1). Vervolgens zijn proeven met onderwaterdrains uitgevoerd in polder Zeevang te Hobrede en Kwadijk (2007-2010) en Warder (2012-2014). Als daarop volgende ontwikkelstap is op KTC Zegveld de werking van onderwaterdrains in combinatie met dynamisch slootpeilbeheer onderzocht (2011-2016). Als derde ontwikkelstap is eveneens op KTC Zegveld de werking van drukdrains onderzocht (2016-2021). In dit onderzoek zijn ook onderwaterdrains als behandeling meegenomen. In het kader van het Innovatie Programma Veen (IPV) zijn drukdrains onderzocht onder praktijkomstandigheden bij gangbaar graslandgebruik op een melkveebedrijf te Assendelft en bij graslandgebruik met een natuurdoelstelling in polder Zuiderveen te Nauerna (2018-2021). In de onderzoeken Zegveld 0, Zegveld 1 en het dynamisch slootpeilbeheer op Zegveld is als subbehandeling de drainafstand gevarieerd.

Tabel 3 Proeven met onderwaterdrains en drukdrains 2004-2021 met verschil in slootpeilbeheer, waterinfiltratie, drainafstand en wel of geen bepaling van de grasopbrengst per locatie.

Locatie	Jaar	Slootpeilbeheer	Waterinfiltratie	Drainafstand (m)	Grasopbrengst
Hobrede	2007-2010	'laag'	Onderwaterdrains	6	Ja
Kwadijk	2007-2010	'laag'	Onderwaterdrains	6	Ja
Warder	2012-2014	'midden'	Onderwaterdrains	4	Ja
Warder	2012-2014	'laag'	Onderwaterdrains	4	Ja
Warder	2012-2014	'midden' en 'laag'	Onderwaterdrains	4	Ja
Zegveld 0	2004-2007	'hoog'	Onderwaterdrains	4-8-12	Ja
Zegveld 0	2004-2007	'laag'	Onderwaterdrains	4-8-12	Ja
Zegveld 1	2008-2015	'hoog'	Onderwaterdrains	4-8	Ja
Zegveld 1	2008-2015	'laag'	Onderwaterdrains	4-8	Ja
Zegveld	2011-2016	Dynamisch winter hoog	Onderwaterdrains	4-8	Nee
Zegveld	2011-2013	Dynamisch winter laag	Onderwaterdrains	4-8	Nee
Zegveld	2016-2021	'hoog'	Drukdrains/onderwaterdrains	6	Nee
Zegveld	2016-2021	'laag'	Drukdrains/onderwaterdrains	6	Nee
Assendelft	2018-2021	'laag' en 'midden'	Drukdrains	4	Nee
Nauerna	2018-2021	'midden'	Drukdrains	4	Nee

Een plattegrond met de proeflocaties staat in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Proeflocaties onderwaterdrains Hobrede (HO), Kwadijk (KW), en Zegveld (ZV) en Drukdrains Zegveld (ZV), Assendelft (AD) en Nauerna (NA).

3.2 Bodemkarakteristiek proeflocatie

De herkomst van het veen (zegge, riet, bos of veenmos) en de aanwezigheid van klei of de dikte van een kleidek op veengrond bepalen in grote mate de kwalificatie van de veensoort en de variatie in bodemopbouw. In Tabel 4 staan per locatie de coördinaten van de proeflocatie (proefboerderij of pilotbedrijf) en een beschrijving van de bodem. Hierbij is gebruik gemaakt van Bodemdata.nl. In Bijlage 1 staat een nadere beschrijving van de bodeminventarisatie inclusief boorgatmetingen per locatie voor het bepalen van de k-waarde. Om het effect van eventuele fouten in de boorgatwaarnemingen op de k-waarde te onderzoeken is voor locatie Zegveld een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De mediane k-waarden van de gevoeligheidsanalyse staan in Bijlage 2, evenals de uitgangspunten van het drainageadvies

Tabel 4 Coördinaten van de proeflocatie (proefboerderij of pilotbedrijf), code voor bodemtype en een beschrijving van de bodem per locatie.

Locatie	GPS-Coördinaten (x,y in graden)	Code	Beschrijving bodem
Hobrede	4.998, 52.540	pVs	Weideveengrond op veenmosveen. Rauwveengrond met een zavel- of kleidek waarin een minerale eerdlaag is ontwikkeld of een humusrijke bovengrond die tenminste 15 cm dik is. Detailkaart (Bodemdata.nl). Het proefperceel en het referentieperceel betroffen hoofdzakelijk veengronden met een moerige bovengrond (koopveengronden). De veendikte varieerde tussen 0,80 en 1,0 meter en het kleidek varieerde in dikte tussen 5 en 30 cm en bestond uit matig zware kalkloze klei.
Kwadijk	4.987, 52.537	hVc	Koopveengrond op Zeggeveen, rietzeggeveen of (mesotroof) broekveen. Eerdveengrond met een kleiige moerige eerdlaag die 15-50 cm dik is. Detailkaart (Bodemdata.nl). De veendikte varieerde tussen 0,80 en 1,0 meter en het kleidek varieerde in dikte tussen 5 en 30 cm en bestond uit matig zware kalkloze klei.
Warder	5.048, 52.525	kVc	Waardveengrond (kVc) op Zeggeveen, rietzeggeveen of (mesotroof) broekveen. Rauwveengrond met een zavel- of kleidek waarin geen minerale eerdlaag is ontwikkeld en een humusrijke bovengrond ontbreekt of dunner is dan 15 cm. Detailkaart (Bodemdata.nl). De proefpercelen hadden een kleidek van ca. 20 cm dik. Op een diepte van 1,20 – 1,40 m –maaiveld gaat het veen over in ongerijpte klei.
Zegveld	4.839, 52.140	hVb	Koopveengrond op bosveen (of eutroof broekveen). Eerdveengrond met een kleiige moerige eerdlaag die 15-50 cm dik is. Stouthamer (2008). Het veenpakket (Formatie van Nieuwkoop) is circa 6 m dik; daaronder liggen pleistocene zandafzettingen (Pleijter en Van den Akker, 2007). De gemiddelde kwel/wegzijing bedraagt 0-0,1 mm per dag.
Assendelft	4.743, 52.474	kVc pVc	Waardveengrond (kVc) en weideveengrond (pVc) op Zeggeveen, rietzeggeveen of (mesotroof) broekveen. Rauwveengronden met een zavel- of kleidek waarin respectievelijk geen minerale eerdlaag is ontwikkeld en een humusrijke bovengrond ontbreekt of dunner is dan 15 cm en wel een minerale eerdlaag is ontwikkeld of een humusrijke bovengrond die tenminste 15 cm dik is. Detailkaart. Uit grondboringen bleek de bodem geclassificeerd te worden als weideveengrond of neigde naar koopveengrond. In de ondergrond kwam een 1,5 -3 m dikke veenlaag voor bestaande uit rietzeggeveen. Het gebied is overwegend een kwelgebied met 0-0,2 mm per dag
Nauerna	4.743, 52.443	pVs	Waardveengrond (kVc) op bosveen. Rauwveengrond met een zavel- of kleidek waarin geen minerale eerdlaag is ontwikkeld en een humusrijke bovengrond ontbreekt of dunner is dan 15 cm. Detailkaart. Het gebied is overwegend een kwelgebied met 0-0,2 mm per dag.

3.3 Proefopzet en aanleg drains

De veldproeven waren primair gericht op het onderzoeken van de invloed van onderwaterdrains op het grondwaterstandsverloop. In het voorliggende rapport zijn de locaties en proefpercelen opgenomen met een vergelijkbaar slootpeilregime en binnen proefpercelen proefvakken met en zonder onderwaterdrains, om perceelsverschillen in de vergelijking tussen behandelingen uit te kunnen sluiten. Alleen voor de percelen op de locaties Assendelft en Nauerna was dit niet het geval. Hier lagen de drainbehandeling en de referentie op verschillende percelen. Een verandering van het grondwaterstandsverloop geeft zowel informatie over de landbouwkundige gebruiksmogelijkheden van het grasland, als de te verwachten mate van veenafbraak.

Voorafgaand aan de aanleg is op basis van de beschikbare bodemkundige informatie door Wageningen Environmental Research een drainage-advies opgesteld voor de te hanteren draindiepte en drainafstand. De gestelde eisen waren een maximale uitholling van de grondwaterstand tussen de drains van 10 cm. De infiltratie dient de verdamping te compenseren en daarbij werd verondersteld dat de verdamping maximaal 5 mm per dag zou bedragen. Gemiddeld over een decade werd uitgegaan van een aanvulling van 3 mm per dag (verdamping – neerslag-berging). Per locatie is beschreven op welke wijze de drains zijn aangelegd. De drains zijn horizontaal aangelegd zonder afschot op een diepte van circa 70 cm beneden maaiveld, tenminste 10 cm beneden slootpeil en ruim boven de slootbodem. Minder diep geeft risico op droogvallen van de drains op het moment dat het slootpeil daalt of de waterinfiltratie tijdens een droge periode onvoldoende is. Een diepere ligging verhoogt bij onderwaterdrains het risico op instroom van bagger. Dit is bij drukdrains niet het geval, omdat gebruik wordt gemaakt van een waterreservoir en pomp, waardoor de drains dieper (75-80 cm) kunnen worden aangelegd. De drains mogen in ieder geval niet onder de GLG worden aangelegd, omdat dan de afbraak van het maagdelijk veen wordt bevorderd, doordat infiltratiewater zuurstof en nutriënten (sulfaat, fosfaat en nitraat) bevat.

In de proeven met onderwaterdrains bij een vast en een dynamisch slootpeilbeheer werd tevens de grasproductie bepaald, met als doel om de stikstoflevering vanuit de bodem te kwantificeren als groeiparameter, maar ook als indicator voor een verandering van veenafbraak. Het element stikstof (N) is in de vorm van nitraat of ammonium een belangrijke nutriënt voor de groei van gras. Stikstof wordt gegeven in de vorm van meststoffen, maar komt ook vrij door de afbraak van organische stof in de bodem. Veen is organische stof dat in meer of mindere mate verweerd is en afbreekt wanneer het wordt blootgesteld aan zuurstof. De afbraaksnelheid van veen neemt bij hogere temperaturen sterk toe. In de nazomer - begin najaar zijn de grondwaterstanden in het algemeen het laagst en is de bodem sterk opgewarmd, waardoor dan de veenafbraak maximaal is.

De grasopbrengsten zijn bepaald op veldjes die wel en niet bemest werden met stikstof. De stikstofopbrengst van onbemeste veldjes vertegenwoordigt de stikstoflevering uit de bodem door mineralisatie van organische stof en stikstof afkomstig van atmosferische depositie. Het is de verwachting dat door waterinfiltratie de bodem natter wordt en de stikstoflevering vermindert door een afname van de organische stofafbraak door een geringere zuurstofindringing in de bodem. Een verschil in opbrengst tussen bemeste en onbemeste veldjes (stikstof) geeft informatie over de mate van stikstofbenutting in relatie tot waterinfiltratie.

Zegveld - onderwaterdrains (2004-2007)

In het najaar van 2003 zijn op het voormalige proefbedrijf Zegveld (het huidige KTC Zegveld) op vier proefpercelen onderwaterdrains aangelegd, waarbij waterinfiltratie in de vorm van onderwaterdrains is vergeleken met een referentiesituatie zonder onderwaterdrains. De drainafstand is gevarieerd met afstanden van 4, 8 en 12 m. De onderwaterdrains zijn aangelegd bij een 'hoog' slootpeil van 15-20 cm beneden maaiveld (perceel 11 en 13) en een 'laag' slootpeil van 55 cm beneden maaiveld (perceel 2 en 3).

Als alternatief voor onderwaterdrains werden in de proef eveneens moldrains aangelegd. De moldrains werden zonder buismateriaal als een soort mollengang met een kegel in de grond getrokken. Moldrains bleken niet of nauwelijks te draineren, maar wel te infiltreren.

Aangezien gesteld werd dat moldrains voor de landbouw geen toegevoegde waarde hebben, omdat ze tot extra vernatting kunnen leiden, zijn de metingen na twee jaar gestopt. In het voorliggende rapport zijn de resultaten van de moldrains vanwege de beperkte meetreeks niet nader uitgewerkt. Zie voor de resultaten (Hoving et al., 2008).

De situering van de proefpercelen op de locatie Zegveld staat in Figuur 3.2.



Figuur 3.2 Proefpercelen onderzoek onderwaterdrains locatie Zegveld 2004-2007.

Percelen in het veenweide zijn in het algemeen lang en smal. Voor de aanleg van de drainbehandelingen zijn de proefpercelen zodoende in de lengterichting in proefvakken verdeeld, waarbij de drains in de breedterichting van de proefpercelen zijn aangelegd, loodrecht op de perceelssloten. De lengte van de drainvakken werd zodanig gekozen (minimaal 20 meter lang) dat binnen de vakken een homogene situatie verwacht mocht worden, voor wat betreft de grondwaterstand en de vochthuishouding van de bovengrond. Zie voor een schematische weergave van de proefopzet met de drainvakken Bijlage 3.

In veldproeven is het gebruikelijk dat de behandelingen door loting aan veldjes worden toegewezen. Voor dit onderzoek was dit niet mogelijk, omdat grote aaneengesloten vlakken nodig waren om met drainage het gewenste effect te krijgen. Om de beschikbare ruimte zo goed mogelijk te benutten werden de drainvakken tegen elkaar geplaatst waarbij vanaf de kopeinden van de percelen de drainafstand is geïntensiveerd, in respectievelijk de drainvakken Referentie, 12, 8 en 4 m of 12, 8 en 4 m, Referentie. Aangenomen werd dat de variatie in bodemeigenschappen binnen een perceel random was.

In het najaar van 2003 zijn op de vier proefpercelen onderwaterdrains aangebracht. Hiervoor zijn PE (pvc) drainagebuizen gebruikt met een diameter van 60 mm en een tapijtvezelomwikkeling. De drains zijn aangelegd, horizontaal zonder afschot, op een diepte van circa 70 cm beneden maaiveld (10 cm onder het slootpeil). De buisdrains werden in de grond gebracht met een kettinggraver, waarbij de diepte werd bepaald met laserapparatuur. Een afbeelding van de aanleg staat in Figuur 3.3.



Figuur 3.3 Aanleg buisdrains locatie Zegveld met een kleine kettinggraver (2003).

Het gebruik van een kettinggraver had als belangrijke nadelen dat de graszode boven de drains werd vernietigd en opnieuw ingezaaid moest worden en dat de grond ter hoogte van de sleuven na ging zakken, wat hinder oplevert bij trekkerwerkzaamheden op de percelen.

Voor het meten van de grondwaterstanden zijn in de lengterichting op drie raaien peilbuizen geplaatst, waarin zo veel mogelijk wekelijks (in de winterperiode minder frequent) de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld gemeten werd. De raaien lagen dwars op de drainbehandelingen, op een derde, de helft en twee derde van de perceelsbreedte. Zie voor een schematische weergave van de proefopzet met de meetraaien Bijlage 3.

Om het effect van onderwaterdrains op de grasopbrengst te bepalen werden per perceel op het drainvak met een drainafstand van 8 m in tweevoud proefstroken uitgemaaid op de referentie- en onderwaterdrainproefvakken met en zonder stikstofbemesting.

Samenvatting behandelingen

Hoofdbehandeling slootpeilbeheer

1. Vast hoog slootpeil, drooglegging van 20 cm beneden maaiveld (perceel 11 en 13)
2. Vast laag slootpeil, drooglegging van 55 cm beneden maaiveld (perceel 2 en 3)

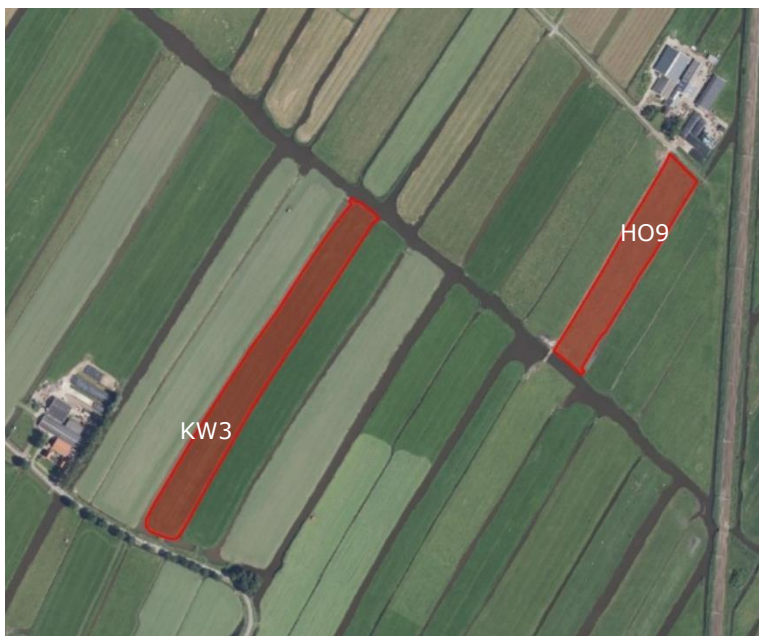
Subbehandeling waterinfiltratie

1. Geen drains (Referentie)
2. Onderwaterdrains 4, 8 en 12 m

Subbehandeling grasopbrengst

1. Geen stikstofbemesting (N0)
2. Praktijkstikstofbemesting (N1)

In polder Zeevang zijn in september 2006 op een pilot melkveebedrijf in Kwadijk en Hobrede proefpercelen met onderwaterdrains ingericht (zie Bijlage 3). Voor het onderzoek was op beide locaties de drooglegging ingesteld op 60 cm beneden maaiveld. In een vooronderzoek zijn de bodemopbouw, de maaiveldhoogteverdeling, de afmetingen van de waterlopen en de in situ verzadigde doorlatendheid (k-waarde) van de bodemlagen vastgesteld. Aan de hand van de resultaten is de vereiste drainafstand vastgesteld op 6 m, waarbij rekening gehouden is met het kunnen opvangen van enige achteruitgang in infiltrerende werking van de drains. In Figuur 3.4 staan de proefpercelen op beide locaties.



Figuur 3.4 Proefpercelen onderzoek Onderwaterdrains locatie Kwadijk (KW3) en Hobrede (HO9) 2008-2011.

Op beide percelen van de twee locaties zijn proefvakken met onderwaterdrains in tweevoud aangelegd. Voor de behandelingen wel en geen onderwaterdrains vond dus een herhaling van de waarnemingen plaats binnen een perceel. Evenals op locatie Zegveld zijn de drains in de breedterichting van het perceel aangelegd. De niet gedraineerde tussenruimtes van de percelen dienden als referentie. Op perceel 3 van locatie Kwadijk zijn eveneens drains in de lengterichting aangelegd met een lengte van 120 m en een drainafstand van 6 m, waarvan de resultaten zijn meegenomen in de statistische analyse. De drainvakken lagen minimaal 50 m van elkaar, zodat deze elkaar niet konden beïnvloeden.

De drainage is op beide locaties aangelegd door loonwerkbedrijf De Vlijt uit Noord-Beemster met een sleufloze draineermachine. De PE drainbuizen hadden een diameter van 60 mm en waren voorzien van een vezelomhulling van gerecyclede bollennetten. De drains zijn aangelegd op een diepte van circa 70 cm beneden maaiveld (10 cm onder het slootpeil) en zijn horizontaal, zonder afschot aangelegd. Een afbeelding van de draineermachine met een halve V-ploeg staat in Figuur 3.5.



Figuur 3.5 *Draineermachine met een halve V-ploeg van loonwerkbedrijf De Vlijt uit Noord-Beemster, waarmee sleufloos gedraineerd werd.*

Voor het meten van de grondwaterstanden zijn in Kwadijk op de drainvakken 12 peilbuizen midden tussen de drains en op de referenties 6 peilbuizen loodrecht op de perceelssligging geplaatst. In Hobrede waren dit 15 peilbuizen midden tussen de drains en op de referenties 5 peilbuizen loodrecht op de perceelssligging. De grondwaterstand is zo veel mogelijk wekelijks (in de winterperiode minder frequent) gemeten ten opzichte van het maaiveld. De raaien lagen dwars op de drainbehandelingen, op een derde, de helft en twee derde van de perceelsbreedte. Zie voor een schematische weergave van de proefopzet met de meetraaien Bijlage 3.

Om het effect van onderwaterdrains op de grasopbrengst te bepalen werden per perceel in tweevoud proefstroken uitgemaaid op de referentie- en onderwaterdrainproefvakken met en zonder stikstofbemesting.

Samenvatting behandelingen:

Hoofdbehandeling waterinfiltratie

1. Geen drains (Referentie)
2. Onderwaterdrains (drainafstand 6 m)

Subbehandeling grasopbrengst

1. Geen stikstofbemesting (N0)
2. Praktijkstikstofbemesting (N1)

Warder - onderwaterdrains (2012-2014)

In de proef is een vergelijk gemaakt tussen jaarrond een slootpeil van 60 cm (perceel 12-13) en 40 cm (perceel 21-22) beneden maaiveld en een peilregime waarbij in het winter- en zomerhalfjaar het slootpeil respectievelijk 60 en 40 cm (perceel 9.1-9.2) beneden maaiveld was (zomerpeil 15 maart - 15 oktober). Dit peilregime is niet meegenomen in de statistische analyse van de grondwaterstanden, omdat deze afwijkt van de vaste peilen en ook de invulling van het dynamische slootpeilbeheer.

De percelen 9.1 en 9.2 zijn wel meegenomen in de analyse van de grasopbrengsten. Als hoofdbehandeling zijn de drie peilregimes ingesteld en als subbehandeling is onderscheid gemaakt tussen wel en geen onderwaterdrains.

Het onderzoek is in tweevoud uitgevoerd, op zes praktijkpercelen die qua breedte en vochthuishouding (hoogteligging, begreppeling, doorlatendheid) vergelijkbaar geacht werden. Per perceel werd de helft gedraineerd in de lengterichting om binnen een perceel een gedraineerde en ongedraineerde situatie te kunnen vergelijken. In Figuur 3.6 staan de proefpercelen op de locatie. In Bijlage 3 staat per proefperceel een schematische plattegrond waarop de drains en opbrengstvakken zijn aangegeven.



Figuur 3.6 Proefpercelen onderzoek Onderwaterdrains locatie Warder 2012-2014.

De drains hadden op alle percelen een tussenafstand van 4 m en zijn horizontaal zonder afschot, op een diepte van ca. 70 cm aangelegd. De PE drainbuizen hadden een diameter van 60 mm en waren voorzien van een vezelomhulling van gerecyclede bollennetten. Een afbeelding van het sleufloos draineren staat in Figuur 3.7.

Voor het meten van de grondwaterstand waren peilbuizen geplaatst in drie raaien in de lengterichting van het perceel. De raaien lagen op een derde, de helft en twee derde van de perceelsbreedte. Op de gedraineerde gedeelten van de percelen lagen de buizen midden tussen de drains.



Figuur 3.7 Aanleg sleufloze drainage in de lengterichting van de proefpercelen op locatie Warder door loonwerkbedrijf De Vlijt uit Noord-Beemster.

De grasopbrengstbepalingen zijn uitgevoerd op twee plaatsen binnen een drainbehandeling met binnen de betreffende plots een herhaling per stikstofbehandeling. Een nadere detaillering van het aantal plots, het aantal veldjes en de afmetingen van de veldjes is als volgt:

Plots: 3 hoofdbehandelingen x 2 drainbehandelingen x 2 herhalingen = 12 plots

Veldjes: binnen een plot 2 N-niveaus x 2 herhalingen. In totaal 48 veldjes

Afmetingen (netto) veldje: 1,5 x 8 m.

Samenvatting behandelingen:

Hoofdbehandeling slootpeilbeheer

1. Slootpeil 'Laag', jaarrond een slootpeil van 60 cm -mv
2. Winterpeil 60 cm -mv en zomerpeil 40 cm -mv (alleen in analyse grasopbrengst)
3. Slootpeil 'Midden', jaarrond een slootpeil van 40 cm -mv

Subbehandeling waterinfiltratie

1. Geen drains (Referentie)
2. Onderwaterdrains (drainafstand 4 m)

Subbehandeling grasopbrengst

1. Geen stikstofbemesting (N0)
2. Praktijkbemesting stikstof (N1)

Zegveld - onderwaterdrains met dynamisch slootpeilbeheer (2011-2016).

Het onderzoek naar het effect van dynamisch slootpeilbeheer is uitgevoerd op proefbedrijf Zegveld en bestond uit een hoofdbehandeling met vier peilstrategieën, waaronder twee varianten met dynamisch peilbeheer. Het effect van de peilstrategieën op het verloop van de grondwaterstanden is gemeten, waarbij zoveel mogelijk rekening gehouden is met variatie in de ruimte en in de tijd. Als subbehandeling is het effect van onderwaterdrains vergeleken met een situatie zonder drains. Naast het effect op hydrologie is als subbehandeling het effect onderzocht op de stikstofopbrengst van gras met en zonder stikstofbemesting. Alle behandelingen zijn in tweevoud aangelegd. Hiertoe zijn per hoofdbehandeling twee praktijkpercelen geselecteerd, waarvoor een zelfde slootpeilregime werd gehanteerd. Daarbij waren de peilen in de sloten rondom de percelen gelijk.

Per hoofdbehandeling betrof het de volgende percelen:

Vast hoog peil:	11 en 13
Dynamisch winter hoog peil:	7b en 8b
Dynamisch winter laag peil:	VO2 en ZW1
Vast laag peil:	2 en 3

De behandeling Dynamisch peilbeheer winter laag (VO2- ZW1) liep van 2011-2013, omdat deze percelen vermoedelijk door kwel relatief nat waren en het effect van dynamisch peilbeheer werd overschaduwd. Volgens het Landelijk Hydrologisch Model (LHM), zou hier sprake moeten zijn van lichte wegzijging van 0-0,1 mm per dag. De overige behandelingen liepen van 2011-2016.

In Figuur 3.8 staan de proefpercelen op de locatie. In Bijlage 3 staan schematische plattegronden van de percelen met een dynamisch slootpeilbeheer.



Figuur 3.8 Proefpercelen onderzoek Onderwaterdrains met dynamisch slootpeilbeheer locatie Zegveld. Dynamisch peilbeheer winter laag (Vo2- Zw1) liep van 2011-2013 en Dynamisch peilbeheer winter hoog (7b-8b) liep van 2011-2016.

Per proefperceel zijn vakken met drains aangelegd met een tussenafstand van 4 en 8 m en een diepte van ca. 70 cm. De drains zijn aangelegd met een sleufloze draineermachine. De PE-drainbuizen hadden een diameter van 60 mm en waren voorzien van een vezelomhulling van gerecyclede bollennetten. De drains zijn dwars op de sloot aangelegd, dus in de breedterichting van het perceel. Per drainobject werden 5 drains aangelegd. Op de gedraineerde gedeelten van de proefpercelen, zijn de bestaande greppels aangevuld met grond. Op de niet gedraineerde gedeelten van de proefpercelen werden de greppels gehandhaafd. Om te voorkomen dat de drainopeningen verstopt raakten met bagger, werd frequent bagger verwijderd met een baggerspuit. Wanneer de hoeveelheden te groot waren voor verspreiding over het land, werd de bagger met een dieplepel uitgegraven en afgevoerd.

Per behandeling (met en zonder drains) waren peilbuizen geplaatst in drie raaien in de lengterichting van het perceel (dwars op de drains).

De raaien lagen op een derde, de helft en twee derde van de perceelsbreedte. De buizen waren op de buitenraaien in het midden tussen de drains geplaatst en op de middenraai midden tussen de drains en op 1 meter van de drain. In het totaal per drainvak 10 peilbuizen. Op de vakken zonder drains lagen 9 peilbuizen.

In Figuur 3.9 staat een schematisch de tijdsfasering van het peilbeheer op jaarbasis weergegeven exclusief de peilverlagingen bij gebruik van het grasland in het groeiseizoen.

	jan.	feb.	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	Slootpeil
vast hoog peil													20-25 cm -mv
vast laag peil													50-55 cm -mv
dyn peil, winter hoog			dynamisch, afhankelijk van draagkracht en gebruik										20-25 cm -mv 50-55 cm -mv
dyn peil, winter laag				dynamisch, afhankelijk van draagkracht en gebruik									20-25 cm -mv 50-55 cm -mv

Figuur 3.9 Tijdfasering peilstrategieën op jaarbasis.

In het groeiseizoen werd het dynamisch peilbeheer afhankelijk gesteld van het bemestingstijdstip in het vroege voorjaar en het graslandgebruik. Een nadere uiteenzetting van de peilstrategieën is als volgt:

Percelen met Dynamisch peilbeheer winter hoog (7b-8b)

- Vast hoog peil 20-25 cm –mv, periode 1 november tot 1 maart
- Vast laag peil 50-55 cm –mv, periode 1 maart tot 1^e kunstmestgift ca. 1 april
- Dynamisch peil, periode 1 april tot 1 november
 - Na kunstmestgift (ca. 1 april) werd het slootpeil hoog gezet (20-25 cm –mv)
 - 7 dagen voor gebruik van elke snede werd het slootpeil verlaagd (50-55 cm –mv)
 - Extra meetronde slootpeil en grondwaterstanden op het moment van peilverlaging
 - Na maximaal 4 dagen weiden werd het slootpeil wederom verhoogd (20-25 cm –mv)

Percelen met Dynamisch peilbeheer winter laag (Vo2- Zw1)

- Vast laag peil 50-55 cm –mv, periode 1 november tot 1^e kunstmestgift ca. 1 april
- Dynamisch peil, periode 1 april tot 1 november
 - Na kunstmestgift (ca. 1 april) werd het slootpeil hoog gezet (20-25 cm –mv)
 - 7 dagen voor gebruik van elke snede werd het slootpeil verlaagd (50-55 cm –mv)
 - Extra meetronde slootpeil en grondwaterstanden op het moment van peilverlaging
 - Na maximaal 4 dagen weiden werd het slootpeil wederom verhoogd (20-25 cm –mv)
 - Na laatste oogst/beweiding eind oktober werd het slootpeil laag gezet (50-55 cm –mv)
 - Daarbij werden slootpeil en grondwaterstanden meten

Op de percelen met dynamisch peilbeheer werd zeven dagen voordat gemaaid of ingeschaard werd het slootpeil verlaagd, maar bij onvoorziene omstandigheden (veranderd weerbeeld) kon dit variëren van vijf tot negen dagen. Wanneer door extreem nat weer ook op dag negen nog niet gemaaid of ingeschaard kon worden, bleef het peil laag totdat het betreffende perceel wel gebruikt kon worden. In de loop van het onderzoek (2013) bleek het veel praktischer om het slootpeil te sturen op basis van de actuele grondwaterstand. Daarbij werden hoge slootpeilen gehanteerd op het moment dat het droog was en de grondwaterstand daalde (neerslagtekort) en werden lage slootpeilen gehanteerd op het moment dat het nat was en de grondwaterstand steeg (neerslagoverschot).

Voor het bepalen van de grasopbrengst werden per proefperceel op het ongedraineerde gedeelte en op de gedraineerde gedeelten met een drainafstand van 8 m maaiveldjes aangelegd met elk vier maaistroken. Van deze vier stroken werden twee wel bemest met stikstof (N1) en twee niet bemest met stikstof (N0). De stroken lagen schuin (45°) ten opzichte van de lengterichting van het perceel.

Samenvatting behandelingen:

- *Hoofdbehandeling slootpeilbeheer*
 1. Vast hoog peil (slootpeil 20-25 cm -mv)
 2. Dynamisch hoog peil. Winter- en zomerpeil 20-25 cm –mv met incidentele verlagingen tot 50-55 cm –mv

3. Dynamisch peil. Winterpeil van 50-55 cm –mv en zomerpeil van 20-25 cm –mv met incidentele verlagingen tot 50-55 cm –mv
 4. Vast laag peil (slootpeil 50-55 cm -mv)
- *Subbehandeling waterinfiltratie*
 1. Geen drains (Referentie)
 2. Onderwaterdrains (drainafstand 4, 8 m)
 - *Subbehandeling grasopbrengst*
 1. Geen stikstofbemesting (N0)
 2. Stikstofbemesting praktijkniveau (N1)

Zegveld - Drukdrains (2016-2021)

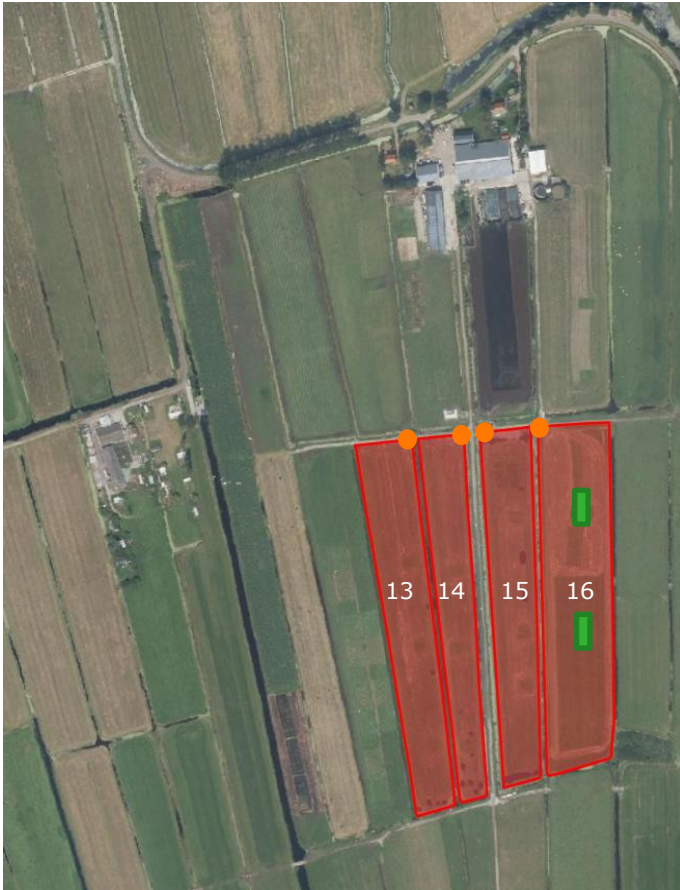
Op KTC Zegveld is in het voorjaar van 2016 een veldproef met onderwaterdrains en drukdrains aangelegd op perceel 13, 14, 15 en 16. In de proef werd binnen elk perceel de referentie zonder onderwaterdrains, gangbare onderwaterdrains op de sloot en drukdrains met elkaar vergeleken. De proef is uitgevoerd in tweevoud bij een vast hoog (perceel 13 en 14) en een vast laag slootpeil (perceel 15 en 16). Per slootpeil werd dus gebruik gemaakt van twee proefpercelen. De drains op perceel 13 uit het eerdere onderzoek (2004-2015), die in de breedterichting van het perceel waren aangelegd, zijn onklaar gemaakt door de eindbuizen te verwijderen en de drains af te doppen. De nieuwe drains in de lengterichting van het perceel kruisen de oude drains.

De proefpercelen waren in de lengterichting gedraineerd met een drainafstand van 6 m met een draindiepte van 65-70 cm beneden maaiveld op de proefpercelen met een hoog slootpeil (perceel 13 en 14) en een draindiepte van 70-75 cm beneden maaiveld op de percelen met een laag slootpeil (perceel 15 en 16). De PE drainbuizen hadden een diameter van 60 mm en waren voorzien van een vezelomhulling van gerecyclede bollennetten. De ongedraineerde behandeling werd gerealiseerd door in het midden van de percelen de drains op twee plaatsen te onderbreken. Verondersteld werd dat tussen de onderbrekingen de drains niet werkten. Dit betrof de behandeling Referentie.

De drains aan de zuidzijde van de percelen waren via een verzameldrain op de belendende sloten aangesloten. Dit betrof de behandeling onderwaterdrains op de sloot. De drains aan de noordzijde van de percelen waren via een verzameldrain op de waterputten aangesloten. Dit betrof de behandeling drukdrains. De greppels in de percelen zijn ongedaan gemaakt door deze met grond op te vullen, zodat deze de vochthuishouding niet konden beïnvloeden. Alleen op perceel 13 is de greppel in stand gehouden, omdat anders bij grote neerslaghoeveelheden het perceel blank zou komen te staan.

Idealiter zouden de k-waarden binnen de percelen gelijk moeten zijn, echter dit was niet het geval (zie Bijlage 1) en is in de praktijk ook lastig te realiseren gezien de variatie tussen en binnen percelen. De situering van de twee peilniveaus en de aanwezigheid van elektriciteit maakten dat de betreffende percelen het meest geschikt waren voor het uitvoeren van het onderzoek. Vooral de relatief lage k-waarden aan de noordzijde van perceel 13 en 14 en de zuidzijde van perceel 15 zouden beperkend kunnen zijn. Op perceel 13 en 14 zijn de drukdrains aangelegd aan de noordzijde, dus het gedeelte met de lage k-waarden. Aangezien met de pompvoorziening in potentie de werking van de onderwaterdrains vergroot, waren de lage k-waarden waarschijnlijk minder beperkend. Op perceel 15 waren de relatief lage k-waarden in het nadeel van Onderwaterdrains op de sloot.

Om in de proefvakken met drukdrains het peil onafhankelijk van het slootpeil te kunnen regelen, zijn de drains via een verzameldrain aangesloten op een afgesloten waterreservoir. De onderkant van de reservoirs lag ongeveer een meter onder het maaiveld en de bovenkant stak ongeveer 1,2 m boven het maaiveld uit. Per slootpeilregime waren twee waterreservoirs geplaatst die via een collectordrain met elkaar verbonden waren, waardoor het waterniveau in de twee reservoirs per slootpeilregime gelijk was. Per slootpeilregime was één waterreservoir voorzien van zowel een pomp om water in te laten als een pomp om water uit te laten. Deze reservoirs waren geplaatst op perceel 14 en 15. Sinds het najaar van 2019 werd in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV), ten behoeve van de doelstellingen in het Klimaatakkoord, de emissie van broeikasgassen gemeten op perceel 14 en 16. De proefpercelen, waterreservoirs en NOBV proefvelden staan in Figuur 3.10.



Figuur 3.10 Proefpercelen onderzoek drukdrains en onderwaterdrains locatie Zegveld 2016-2021. Met de oranje cirkels zijn de waterreservoirs met toevoerregeling aangeduid. Perceel 13 en 14 hadden een hoog slootpeil en perceel 15 en 16 hadden een laag slootpeil. Met groene kaders zijn de NOBV-proefvelden voor het meten van broeikasgasemissies aangegeven.

De pompen waren voorzien van een capaciteitsmeter om het aantal kuubs in- en uitgaand water te kunnen registreren. Het waterpeil werd gemeten met een automatische hoogtemeter die op afstand uit te lezen was. Figuur 3.11 toont een de waterreservoirs met pomp en automatische hoogtemeter.



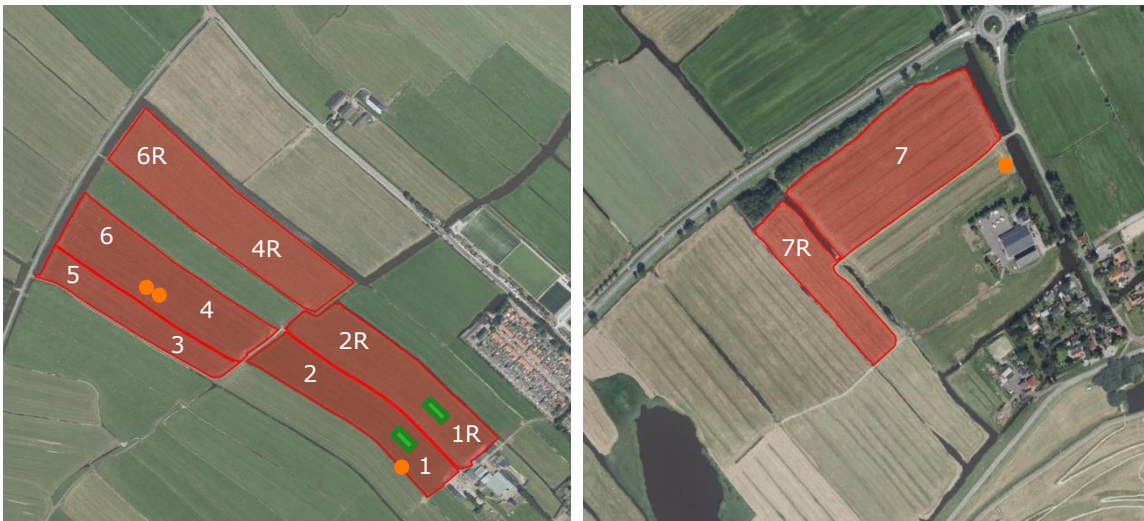
Figuur 3.11 Opstelling waterreservoir met pomp en automatische hoogtemeting van het waterpeil in het reservoir voor de toepassing van drukdrains. De drainbuizen waren via een verzameldrain op het reservoir aangesloten.

Samenvatting behandelingen:

- *Hoofdbehandeling slootpeilbeheer*
 1. Vast hoog slootpeil, drooglegging van 20 cm beneden maaiveld (perceel 13 en 14)
 2. Vast laag slootpeil, drooglegging van 55 cm beneden maaiveld (perceel 15 en 16)
- *Subbehandeling waterinfiltratie*
 1. Geen onderwaterdrains (*Referentie*)
 2. Gangbare onderwaterdrains (*Onderwaterdrains op de sloot*)
 3. Onderwaterdrains met pompaansturing (*drukdrains*)

Assendelft en Nauerna

In het kader van het Innovatie Programma Veen (IPV) zijn drukdrains aangelegd op de huiskavel van het pilotbedrijf (perceel 1-6) in Assendelft en in Nauerna (perceel 7). Een plattegrond van de proefpercelen op het pilotbedrijf (1-6) en in Nauerna (7) en de bijbehorende referentiepercelen staan in Figuur 3.12. De waterreservoirs om respectievelijk het infiltratie- en drainagepeil te beheren stonden op perceel 1 (1), op de grens van perceel 4 en 6 (2 en 3) en op perceel 7 (4). Reservoir 1 bediende perceel 1 en 2, reservoir 2 perceel 3-5, reservoir 3 perceel 6 en reservoir 4 perceel 7. De waterreservoirs waren verbonden met het oppervlaktewater en met behulp van pompen kon actief geïnfiltreerd en gedraineerd worden door de hoogte van de ontwateringsbasis in het waterreservoir aan te passen. Op perceel 1 en 1R werd, evenals op KTC Zegveld, sinds het najaar van 2019 in het kader van het NOBV de emissie van broeikasgassen gemeten.



Figuur 3.12 *Plattegrond proefpercelen. Links: drukdrainpercelen 1-6 en referentiepercelen 1R, 2R, 4R en 6R in Assendelft. Rechts: drukdrainperceel 7 en referentieperceel 7R in polder Zuiderveen te Nauerna. De waterreservoirs zijn aangegeven met oranje cirkels. In het linker deel van de figuur is met groene kaders de NOBV-proefvelden voor het meten van broeikasgasemissies aangegeven.*

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

De drains zijn aangelegd in de lengterichting van de percelen. De drainafstand was 4 m en de draandiepte 70 cm beneden maaiveld. De PE drainbuizen hadden een diameter van 60 mm en waren voorzien van een vezelomhulling van gerecyclede bollennetten. De percelen waren begreppeld, waarbij de oorspronkelijk bedoelde waterafvoerende werking in tact is gebleven. De greppelafstand bedroeg gemiddeld ongeveer 20 m. Bij de aanleg zijn ter hoogte van de greppels de drains aan weerszijden van de greppels aangelegd met de greppel in het midden van de drainafstand, dus op 2 m. Een afbeelding van het aanleggen van de drains (Barth Drainage B.V.) staat in Figuur 3.13.



Figuur 3.13 Aanleg drains door Barth Drainage B.V. ten behoeve van het IPV-onderzoek naar de werking van drukdrains.

Samenvatting behandelingen:

- *Hoofdbehandeling slootpeilbeheer*
 1. Slootpeil 'laag', drooglegging van 55-60 cm - mv (perceel 1-5 en 1R-2R-4R)
 2. Slootpeil 'midden', drooglegging van 40-45 cm -mv (perceel 6-7 en 6R-7R)
- *Subbehandeling waterinfiltratie*
 1. Geen onderwaterdrains (*Referentie*)
 2. Wel onderwaterdrains (*Drukdrains*)

3.4 Grondwaterstandsbeheer drukdrains

Zegveld – Drukdrains

De streefgrondwaterstand bij het toepassen van drukdrains was ongeveer 40 cm beneden maaiveld. Om de grondwaterstand te verhogen werd het peil in het waterreservoir opgezet en om de grondwaterstand te verlagen werd het peil in het waterreservoir verlaagd. Doordat de waterreservoirs boven het maaiveld uitstaken, kon het peil tot aan het maaiveld of zelfs hoger ingesteld worden.

De hoogte van het peil werd bepaald op basis van de neerslagverwachting en de actuele grondwaterstand, welke dagelijks handmatig gemeten werden in drie referentiepeilbuizen. De grondwaterstand wordt beïnvloed door neerslag, gewasverdamping en de mate van kwel of wegzijging. In Tabel 5 staat de werkwijze voor het aan- en afvoeren van water. Voor de aanvoer is onderscheid gemaakt in twee standen en bij de afvoer werd het peil maximaal verlaagd tot 70 cm beneden maaiveld (tot boven de drains). Achteraf gezien is het waterpeil in het reservoir soms onbedoeld onder de draindiepte gekomen, waardoor lucht in het infiltratiesysteem is kunnen komen. Dit kan het functioneren van het systeem negatief beïnvloed hebben.

Tabel 5 Peilregime drukdrains afhankelijk van de verwachte neerslag en de actuele grondwaterstand op KTC Zegveld (2016-2021).

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

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

Voor de uitvoering van het peilbeheer werden de waterreservoirs op perceel 14 en 15 voorzien van twee pompen; één pomp voor de aanvoer van water vanuit de sloot (infiltratie) en één pomp voor afvoer van water vanuit het reservoir (drainage). Voor de aansturing van de pompen is een voorziening ontwikkeld om het waterpeil in het waterreservoir te meten, zodat met peilmarges gewerkt kon worden om de pompen gericht aan en af te kunnen laten slaan. Deze peilmarges waren instelbaar zodat een maximum- en minimumwaterpeil opgegeven kon worden. Het meten van het waterpeil gebeurde met een ultrasoonsensor (zie Figuur 3.14).



Figuur 3.14 Ultrasoonsensor (de witte naar beneden gerichte pijp) voor het meten van het waterpeil in het waterreservoir.

Assendelft en Nauerna – Drukdrains

Om de grondwaterstand te verhogen werd het peil in het waterreservoir opgezet en om de grondwaterstand te verlagen werd het peil in het waterreservoir verlaagd. Doordat de waterreservoirs boven het maaiveld uitstaken, kon het peil tot aan het maaiveld of zelfs hoger ingesteld worden. Op perceel 1, 2, 6 en 7 werden in de winter (november-februari) de reservoirs dichtgezet en werd geen water via de drukdrains afgevoerd. Op perceel 3, 4 en 5 stonden in de winter de waterreservoirs open, waardoor via de drains water werd afgevoerd. De percelen 1-6 lagen op de huiskavel van het pilotbedrijf en waren vanuit de bedrijfsvoering gezien essentieel voor de voederwinning en het rondzetten van de beweiding. In het experimenteren met watermanagement bestond zodoende een spanningsveld tussen het behalen van de doelstelling van het onderzoek en het behoud van productie en bedrijfsrendement. Het sturen op de gewenste grondwaterstand en draagkracht gebeurde zo scherp mogelijk, echter wel met behoud van voldoende draagkracht van de graszode.

Na het in gebruik nemen van de drukdrains moest met de aansturing hiervan nog ervaring worden opgedaan en is aanvankelijk het aansturingprotocol gebruikt, zoals dat in het onderzoek op KTC Zegveld werd toegepast met een streefpeil voor de grondwaterstand van 40 cm beneden maaiveld. In 2019 is het streefpeil verder aangescherpt en verhoogd naar 30-35 cm beneden maaiveld en werd de grens opgezocht van juist een voldoende draagkracht van de graszode voor weiden en berijden. Op perceel 7 te Nauerna was de streefgrondwaterstand 20 cm beneden maaiveld.

De hoogte van het peil werd bepaald op basis van weersverwachting en de actuele grondwaterstand. Het monitoren van de grondwaterstand vond plaats door middel van dagelijkse handmatige metingen in drie referentiepeilbuizen. De grondwaterstand wordt beïnvloed door neerslag, gewasverdamping en de mate van kwel of wegzijging. De werkwijze voor het aan- en afvoeren van water was conform het protocol dat in het onderzoek op KTC Zegveld gehanteerd werd (Tabel 5).

Gedurende het project is de aansturing van de pompen geautomatiseerd en kon met een webapplicatie de pompen op afstand aangestuurd worden.

Bij aanvang van het onderzoek werd het maximum- en minimum waterpeil in het reservoir met vlotters ingesteld (beheermarge) en werden de pompen handmatig bediend (op locatie).

In het voorjaar van 2020 is hier een automatische voorziening voor aangebracht en konden de beheermarges en pompen op afstand via een webpagina worden ingesteld en bediend.

In Figuur 3.15 staat een afbeelding van een waterreservoir waar de onderwaterdrains op waren aangesloten en met pompen het streefpeil voor de grondwaterstand kon worden gerealiseerd.



Figuur 3.15 Waterreservoir waar de onderwaterdrains op aangesloten waren en met pompen het streefpeil voor de grondwaterstand kon worden gerealiseerd. In de kast die op de put was gemonteerd bevond zich het besturingssysteem voor het instellen van de streefpeilen en het aan- en uitschakelen van de pompen voor draineren en infiltreren.

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

Op perceel 3-4 was vanaf begin augustus 2019 het systeem zodanig operationeel dat daadwerkelijk actief geïnfiltrerd kon worden. In 2020 was hiervan pas het effect te zien. Echter, door een te grote vlotteruitslag, waardoor het systeem te laat startte met infiltreren, werd de streefgrondwaterstand niet gehaald. De

vlotteruitslag is aangepast, echter te laat om hier in de zomer van 2020 een verhogend effect van te zien. In 2021 werd uiteindelijk wel de streefgrondwaterstand gehaald.

Op perceel 5-6 was in 2018 en 2019 alleen op perceel 6 het effect van extra infiltratie te zien. In 2020 is door aanpassing van de waterreservoirs en pompen ook op perceel 5 het infiltreren gaan functioneren. Evenals op perceel 3-4 werd aanvankelijk in 2020 door een te grote vlotteruitslag de streefgrondwaterstand niet gehaald.

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

3.5 Waarnemingen

Grondwaterstanden

In de proeven werden de grondwaterstanden wekelijks handmatig gemeten in een groot aantal peilbuizen verspreid over de behandelingen om de ruimtelijke variatie in de metingen mee te kunnen nemen. Op de gedraineerde gedeelten waren de buizen in het midden tussen de drains geplaatst. De buizen waren niet gefundeerd en bewogen dus mee met het maaiveld. Ter bescherming en herkenning van de peilbuizen werden midden boven de peilbuizen tegels geplaatst. Deze tegels waren voorzien van een ronde uitsparing waardoor de bovenkant van de peilbuis bereikbaar was en de meting met een meetlint kon plaatsvinden. De grondwaterstanden werden gemeten ten opzichte van het maaiveld. Zie Bijlage 3 voor een schematisch overzicht van de proefpercelen en de plaatsing van de peilbuizen. In de proeven op de locaties Zegveld en Warder waren per proefperceel de peilbuizen in drie lengteraaien geplaatst, op respectievelijk éénderde, de helft en tweederde van de perceelsbreedte. Op de locaties Hobrede, Kwadijk, Assendelft en Nauerna waren de percelen relatief breed en hier lagen, afhankelijk van de perceelsbreedte, 3-6 meetraaien (zie Bijlage 3).

Gekozen is voor handmatige metingen in plaats van het inzetten van elektronische drukopnemers (Divers), om de ruimtelijke variatie voldoende te ondervangen. Met Divers wordt de variatie in de tijd goed gemeten, maar deze waren te kostbaar om op grote schaal in te zetten.

In alle proeven waren de percelen begreppeld en de proeven die op locatie Zegveld zijn op de perceelsgedeelten met onderwaterdrains de greppels aangevuld om oppervlakkige afvoer van water te voorkomen. In de proeven op de andere locaties is de waterafvoerende werking van de greppels in tact gebleven om tijdens een neerslagoverschot relatief hoge grondwaterstanden te voorkomen en het graslandgebruik niet te veel te benadelen.

Voor het peilbeheer van de drukdrains werd op locatie Zegveld dagelijks op perceel 14 en 15 de grondwaterstand gemeten in de eerste peilbuis van de drie meetraaien (gerekend vanaf het proefbedrijf aan de noordzijde) op de behandeling drukdrains. In Assendelft en Nauerna werd voor het beheer van de toevoerregeling gebruik gemaakt van automatische drukopnemers.

Slootpeilen

Tijdens de wekelijkse meetronde van de grondwaterstanden werden op vaste punten de slootpeilen gemeten. Hiertoe waren peilschalen aangebracht en werd het slootpeil ten opzichte van NAP gemeten. Bij onderwaterdrains met slootpeil 'laag of midden' was dit ter hoogte van de onderbemalingspomp en bij drukdrains was dit bij de waterreservoirs.

Maaiveldhoogte

De maaiveldhoogte is gemeten door met een waterpasinstrument de hoogte van de bovenkant van de tegels boven de peilbuizen te meten ten opzichte van een vast geregistreerd punt in de buurt, waarvan de hoogte ten opzichte van NAP bekend was. De maaiveldhoogtes zijn bepaald om de maaiveldhoogte van de proefpercelen of behandelingen binnen percelen onderling te kunnen vergelijken ten behoeve van het vergelijk van de gemeten grondwaterstanden. De interesse ging uit naar de werkelijke grondwaterstanden

beneden maaiveld, omdat deze bepalend zijn voor de mate van zuurstofintreding (bodemdaling en CO₂-emissie) en de bodemvochttoestand van de bovengrond (draagkracht en grasgroei).

In de proeven werden de maaiveldhoogtes jaarlijks in het vroege voorjaar gemeten, na opzwellen van het veen in de winter. In de proef op Zegveld met onderwaterdrains en drukdrains (2016-2021) zijn in het voorjaar van 2016 geen metingen verricht omdat de proefpercelen nog ingericht moesten worden en in 2017 is dit in het voorjaar niet gelukt door capaciteitsproblemen en defecte meetapparatuur. In plaats hiervan zijn metingen verricht in het najaar van 2017. Vervolgens is de maaiveldhoogte in het vroege voorjaar van 2019 en 2020 gemeten.

De voorjaarsmetingen van deze laatste twee jaren zijn gebruikt om per perceel per behandeling de gemiddelde maaiveldhoogte te bepalen en deze onderling te kunnen vergelijken.

Grasopbrengsten

Voor het bepalen van de grasopbrengst werden per proefperceel op het niet gedraineerde gedeelte (referentie) en gedeelten met onderwaterdrains in tweevoud maaiveldjes aangelegd. Voor de stikstofbemesting zijn twee niveaus gehanteerd om het effect van slootpeil en onderwaterdrains op de stikstoflevering van de bodem te kunnen bepalen. Een verminderde stikstoflevering kan namelijk wijzen op een vermindering van de veenafbraak. De stikstofopname met gras is dan lager en gaat veelal gepaard met een lagere drogestofopbrengst. In de proef op locatie Zegveld (2004-2007) lagen acht maaistroken per behandeling, waarvan vier wel met stikstof (N1) en vier niet met stikstof (N0) werden bemest. In de proef op locatie Zegveld (2011-2015) lagen elk vier maaistroken, waarvan twee stroken wel en twee stroken niet met stikstof werden bemest. In de proeven op de locaties Kwadijk, Hobrede en Warder was dit ook het geval. In beide proeven op locatie Zegveld werden als behandeling meerdere drainafstanden gehanteerd en lagen de maaistroken op het gedraineerde gedeelte met een drainafstand van 8 m. De eerste snede werd gemaaid bij een opbrengstniveau van 3000-3500 kg drogestof per ha. De daarop volgende sneden werden vervolgens om de vijf à zes weken gemaaid.

Alle stroken werden voldoende met fosfaat en kali bemest, zodat verschillen in opbrengsten voor wat betreft de bemesting uitsluitend waren toe te schrijven aan een verschil in stikstofbemesting. De grasopbrengst werd per snede bepaald door stroken uit te maaien. Het maaien gebeurde met een Haldrup proefveldmaaier (werkbreedte 1,50 m, lengte strook 6 à 9 m). Voor het bepalen van het drogestofgehalte van het gemaaid gras werden representatieve monsters gestoken die vers werden gewogen en droog werden teruggewogen na drogen bij 105 °C. Eveneens zijn verse grasmonsters gebruikt voor de analyse van het stikstofgehalte op basis van NIRS. In de proef die in 2011-2015 op locatie Zegveld is uitgevoerd zijn alleen in 2011-en 2012 stikstofgehalten bepaald.

Botanische samenstelling

Van de proefpercelen werd jaarlijks de botanische samenstelling van de behandlungsobjecten bepaald, om te zien of het toepassen van onderwaterdrains een systematische verandering van de botanische samenstelling liet zien. De proefperioden waren echter te kort om een verandering van de botanische samenstelling door onderwaterdrains te kunnen verwachten. Daar waar grasopbrengsten werden bepaald werd de botanische kartering gebruikt om verschillen tussen behandelingen te kunnen verklaren. Op korte termijn kan door maaien namelijk de botanische samenstelling vrij snel veranderen (vooral een toename van het slecht gewaardeerde kweekgras), wat invloed kan hebben op de resultaten. De botanische samenstelling bleek zich op de referenties niet anders ontwikkeld te hebben dan bij onderwaterdrains of drukdrains en was zodoende niet van invloed op de grasopbrengsten of stikstofgehalten van het gras. De botanische samenstelling is zodoende in dit rapport verder buiten beschouwing gelaten.

3.6 Bemesting en teelt

Voor het bepalen van het effect van het wel of niet toepassen van onderwaterdrains op de grasopbrengst en stikstofhuishouding werd in elke afzonderlijke veldproef telkens hetzelfde bemestingsregime voor stikstof (N), fosfaat (P₂O₅) en kalium (K₂O) gehanteerd. Voor stikstof werd onderscheid gemaakt in wel (N1) en geen (N0) stikstofbemesting. Voor de N1 velden werd een stikstofbemestingniveau gehanteerd van 225 kg N per

ha. De bemestingshoeveelheden N, P₂O₅ en K₂O staan in Tabel 6. Er werd uitsluitend gebruik gemaakt van kunstmest. De overige perceelsoppervlakte werd bemest conform de praktijk met zowel drijfmest als kunstmest.

Tabel 6 Bemestingshoeveelheden N, P₂O₅ en K₂O per snede (maximaal 5 giften) en totaal.

Snede	1	2	3	4	5	totaal
N (kg per ha)	80	50	35	30	30	225
P ₂ O ₅ (kg per ha)	45	30	30	30	25	160
K ₂ O (kg per ha)	100	100	100	100	100	500

3.7 GLG en GHG

De grondwaterstanden in de zomer zijn een belangrijk gegeven voor het bepalen van het effect van vernattingsmaatregelen. Voor de interpretatie van de grondwaterstanden zijn de hydrologische parameters Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) en Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) berekend. De GLG en GHG zijn berekend door eerst per jaar de LG3 en de HG3 te berekenen en deze waarden vervolgens te middelen over de reeks van de proefjaren. Conform protocol (Cate et al., 1995) zijn de LG3 en HG3 berekend door per jaar respectievelijk in de periode van 1 april tot 1 november de drie laagste en in de periode van 1 november tot 1 april de drie hoogste grondwaterstanden gemeten op 14^e en 28^e van de maand te middelen. De grondwaterstanden werden veelal niet op deze data gemeten en zodoende zijn de data gebruikt die hier maximaal 3 dagen vanaf weken. Het protocol schrijft echter ook voor, dat de GLG en GHG over een reeks van tenminste acht weerjaren berekend moet worden. Met de kortere proefperiodes voor de meeste van geanalyseerde proeven kon hier niet altijd aan voldaan worden. Voor deze proeven moeten de berekende GLG en GHG zodoende als indicatief beschouwd worden.

3.8 Schatting maaiveldddaling en broeikasgasemissie

Door Van den Akker et al. (2007, 2008) zijn voor grasland uit monitoringsdata betreffende maaiveldddaling, slootpeilen en grondwaterstanden empirische relaties bepaald om de jaarlijkse maaiveldddaling te berekenen uit slootpeilen (drooglegging) en kengetallen voor de grondwaterstand, zoals de GLG, gemiddelde zomergrondwaterstand of gemiddelde jaargrondwaterstand. Deze empirische relaties zijn in Kuikman et al. (2005) gebruikt om de maaiveldddaling van veengebieden in Nederland in kaart te brengen en deze vervolgens om te zetten in kooldioxide emissie (CO₂) om zo voor Nederland de totale CO₂-emissie van veengronden in agrarisch gebruik te berekenen.

Door Van den Akker et al. (2007, 2008) wordt aangegeven dat veenoxidatie veel beter aan de diepste grondwaterstanden in de zomerperiode kan worden gerelateerd dan aan slootpeilen. Aan het einde van de zomer zijn in het algemeen niet alleen de grondwaterstanden op zijn diepst maar is de grond ook op zijn droogst met de meeste en diepste krimpscheuren waardoor zuurstof diep in het profiel kan dringen en zijn bovendien de bodemtemperaturen op zijn hoogst. De potentiële afbraaksnelheid van veen neemt bij toenemende bodemtemperatuur snel toe. Met een factor Q₁₀ wordt aangegeven hoeveel de potentiële afbraak toeneemt bij een stijging van 10 °C. Vermeulen en Hendriks (1996) vonden voor Nederlandse veengronden in het temperatuurtraject van 0 – 10 °C een Q₁₀-waarde van 3,0 – 5,6 en in het traject van 10 – 20 °C Q₁₀-waarden van 2,4 – 3,6.

In onderstaande vergelijkingen (1), (2) en (3) zijn de oorspronkelijke vergelijkingen voor de relaties tussen maaiveldddaling en GLG uit Van den Akker et al. (2007, 2008) omgezet naar relaties tussen CO₂-emissie en GLG, waarbij 1 mm maaiveldddaling gelijk is gesteld aan een CO₂-emissie van 2,26 ton CO₂.ha⁻¹.

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

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

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

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

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

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

waarin y = de emissie in t CO₂ .ha⁻¹.j⁻¹
GLG = Gemiddeld Laagste Grondwaterstand in m

Door de beperkte meetreeksen was het aantal metingen beperkt. Vooral voor veen zonder kleidek is de relatie eenduidig. De sterke invloed van de diepte van de grondwaterstand, maar ook temperatuur, wordt bevestigd door onder andere Moore and Dalva (1993), Renger et al. (2002), Wessolek et al. (2002), Höper (2007), Kluge et al. (2008), Couwenberg et al. (2011), Tiemeyer et al. (2020) en Evans et al. (2021).

Bedacht moet worden dat de empirische vergelijkingen (1) t/m (3) zijn vastgesteld voor een situatie zonder toepassing van onderwaterdrains. Onderwaterdrains infiltreren niet alleen maar draineren ook, waardoor de GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) lager ligt en de bovengrond en zodelaag gemiddeld minder vaak volledig verzadigd zijn en daardoor de veenoxidatie groter zou kunnen zijn. Het winterhalfjaar zijn echter de temperaturen relatief laag en de bovengrond is reeds sterk verweerd, waardoor theoretisch dit effect gelimiteerd is.

Anderzijds zal door de voortdurende verbeterde infiltratie de bodemlaag direct boven de grondwaterstand natter blijven zodat daar de zuurstofvoorziening vermindert.

Op basis van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) uit het Kennisprogramma bodemdaling worden de komende jaren verbeterde relaties verwacht voor het schatten van emissies (zie paragraaf 5.4). Voor nu geven de vergelijkingen (1) t/m (3) een redelijke inschatting. Voor maaiveldddaling is eveneens gebruik gemaakt van vergelijkingen uit Van den Akker et al. (2007, 2008) voor veengronden zonder en met een kleidek (<40 cm):

Veengronden zonder kleidek:

$$y = 23,537 \text{ GLG} - 6,68; R^2 = 0,98 \quad (4)$$

Veengronden met een kleidek (< 40 cm):

$$y = 23,537 \text{ GLG} - 10,47; R^2 = 0,98 \quad (5)$$

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

Voor de lachgasemissie (N₂O) is de methodiek gebruikt zoals beschreven in Kuikman et al. (2005). Daarbij wordt gerekend dat door de veenoxidatie niet alleen CO₂ vrijkomt, maar ook stikstof (N) mineraliseert, die voor ca 2% wordt omgezet in N₂O (Kroeze, 1994). De CO₂-emissie volgt uit vergelijking (1), waaruit vervolgens de hoeveelheid gemineraliseerde koolstof (C) kan worden berekend. De koolstof-stikstofverhouding (C/N) van het eutrofe veen in Zegveld is C/N = 20, zodat de hoeveelheid gemineraliseerde stikstof kan worden berekend. Daarvan wordt 2% omgezet in N₂O (Kroeze, 1994). Gerekend is met een factor 265 om het broeikasgaseffect van N₂O om te zetten naar CO₂-equivalenten (Myhre et al., 2013 - IPCC Fifth Assessment Report). Uiteindelijk is het bijkomende broeikas effect in CO₂-eq van de N₂O door de stikstofmineralisatie 11,36% van de CO₂-emissie door veenoxidatie.

Volgens Van den Pol-van Dasselaar (1998) is methaanemissie (CH₄) niet aan de orde zolang grasland niet plas-dras staat, zoals dat in natuurgebieden het geval kan zijn. Intensief gebruikt en bemest grasland met een voldoende drooglegging legt zelfs methaan vast. Volgens Schrier-Uijl (2010) werd wel methaanemissie uit Nederlandse veenweiden gemeten. Sloten en slootkanten zijn de hotspots (60-70 % van de terrestrische CH₄-emissie), maar ook uit het grasland kwam in de zomer CH₄ vrij. Onderzocht werd of transformatie van intensief landbouwkundig gebruik naar natuurbeheer tot een verandering van methaanemissie zou leiden. Dit

bleek niet het geval, tenminste wanneer de emissies door landbouwkundig gebruik van de grond werd meegerekend. In het onderzoek waren de zomerslootpeilen gelijk.

Het onderzoek bood geen aanknopingspunten om CH₄-emissie te kunnen relateren aan peilbeheer of mate van vernatting. Mede gezien de conclusies uit het onderzoek van Pol-van Dasselaar (1998) en de gebruikte systematiek volgens Kuikman et al. (2005), om voor de veengebieden in Nederland maaiveld daling en broeikasgasemissie in kaart te brengen, is in de interpretatie van de veldproef methaanemissie voor grasland buiten beschouwing gelaten.

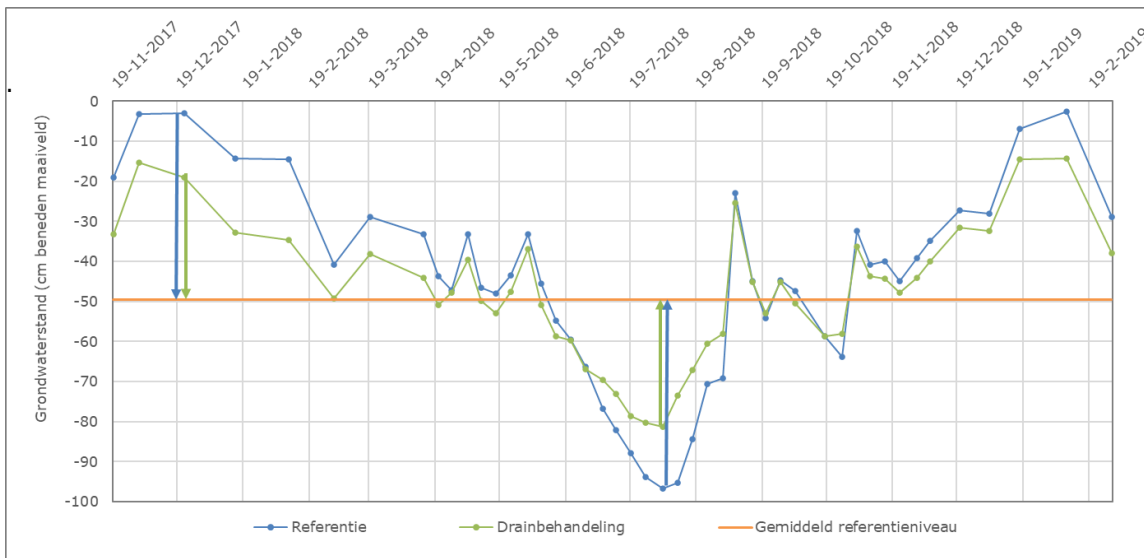
In Motelica et al. (2020) zijn verschillende methoden vergeleken om broeikasgasemissies op veenweidegrond te kwantificeren. Een alternatief voor de relaties van Van den Akker et al. (2007, 2008) is de methode van Jurasinski (2016), welke gebaseerd is op een verandering van de gemiddelde grondwaterstand. Volgens deze methode wordt de verandering van CO₂-, N₂O- en CH₄-emissie geschat. Aangezien onderwaterdrains de grondwaterstanden nivelleren (lagere wintergrondwaterstand en hogere zomergrondwaterstand) verandert de gemiddelde grondwaterstand relatief gering en zou volgens deze methode nauwelijks reductie optreden. Dit wordt echter onwaarschijnlijk geacht, omdat bij een substantiële verhoging van de GLG (en tevens de verzadigde zone) de zuurstofindringing in de bodem en daarmee de veenafbraak vermindert. De relaties van Van den Akker (2007, 2008) kwantificeren dit verband tussen een hogere GLG en een verminderde maaiveld daling en CO₂-emissie. De methode van Jurasinski is daarom niet gehanteerd.

3.9 Statistische analyse

Grondwaterstanden

Het verloop van de grondwaterstanden van de onderzoeksobjecten is statistisch geanalyseerd om het effect van de behandelingen onderwaterdrains of drukdrains op de grondwaterstand ten opzichte van de referentie te kunnen toetsen en te kwantificeren. Hierbij zijn voor de drainbehandelingen alleen de peilbuizen midden tussen de drains in de analyse meegenomen, om de proeven onderling te kunnen vergelijken.

In het vergelijk tussen de drainbehandeling en de referentie is de gemiddelde grondwaterstand van de referentie over de gehele onderzoeksperiode als het normatieve niveau gekozen. Per proefperceel zijn de grondwaterstanden van de referentie en de drainbehandeling gemiddeld per meetdatum. Het verschil tussen de gemiddelde grondwaterstanden per meetdatum van de referentie en het normatieve niveau (Delta REF) en het verschil tussen de gemiddelde grondwaterstanden per meetdatum van de drainbehandeling en het normatieve niveau (Delta BEH) zijn paarsgewijs vergeleken. In Figuur 3.16 is geïllustreerd hoe de verschillen voor twee meetmomenten paarsgewijs zijn vergeleken ten opzichte van het gemiddelde niveau van de referentie.



Figuur 3.16 Illustratie paarsgewijze vergelijking van grondwaterstanden van de referentie per meetdatum (blauwe pijlen; Delta REF) en de drainbehandeling (groene pijlen; Delta BEH) binnen een perceel ten opzichte van de gemiddelde (normatieve) grondwaterstand voor de Referentie.

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

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

Waarin:

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

Het verschil tussen objecten met en zonder drainbehandeling is verklaard met de parameter b_1 , de regressie coëfficiënt van de grondwaterstand voor de drainbehandeling ten opzichte van de referentie. Deze lineaire parameter (richtingscoëfficiënt) kwantificeert voor de drainbehandelingen de afwijking van delta BEH ten opzichte van Delta REF ($x=0$). Een lineaire parameter gelijk aan 1 betekent dat delta BEH en delta REF overeenkomen. Een kleinere waarde dan 1 betekent dat de onderwaterdrainbehandeling de gemiddelde grondwaterstand verhoogt (zomer) of verkleint (winter) ten opzichte van de referentie. Des te kleiner de waarde des te groter het effect.

In een lineaire relatie zijn het drainerende en infiltrerende effect gelijk. De kwadratische term (b_2) kwantificeert een extra drainerend effect in het winterhalfjaar of een extra infiltrerend effect in het zomerhalfjaar. Zonder een extra drainerend of infiltrerend effect vervalt de kwadratische term.

Een verandering van de intercept (b_0) betekent dat het gemiddelde niveau van de grondwaterstand verschuift. Dit kan veroorzaakt worden door verschil in maaiveldhoogte en/of door een effect van de drainbehandeling.

In de analyse is voor de drainbehandeling de verandering van de grondwaterstand ten opzichte van een voorgaande meting als correctiefactor meegenomen, omdat hier bij neerslag sneller grondwaterstandspieken ontstonden door een reeds hogere grondwaterstand dan de referentie (kleinere buffer voor het bergen van neerslag in de bovengrond). Deze grondwaterstandspieken hadden een relatief grote invloed op de relatie. Zonder deze correctie werd de lineaire parameter overschat en dus het effect van de drainbehandeling

onderschat. De correctie betrof de verhouding tussen Delta REF en Delta BEH, gedeeld door het aantal dagen tussen de meting en de voorgaande meting. De correctiefactor kon zowel negatief als positief zijn en was gemiddeld over alle metingen gelijk aan nul. De correctiefactor werd alleen in de analyse gebruikt en kwam niet in het eindmodel tot uiting.

De analyse over de proeven heen is apart uitgevoerd voor de proeven met onderwaterdrains, onderwaterdrains in combinatie met een dynamisch slootpeilbeheer en drukdrains. Voor de proeven met drukdrains (Zegveld 2016-2021, Assendelft en Nauerna 2018-2021) is de analyse uitgevoerd voor 2018-2021.

Grasopbrengsten

Met behulp van een REML-model uitgevoerd in Genstat 19th edition (2018) zijn de drogestofopbrengst en de stikstofopbrengst op jaarbasis geanalyseerd. Het model is gecorrigeerd voor random invloeden van drainage, stikstofniveau, slootpeil en jaaraafhankelijke effecten. In het fixed model zijn de behandelingseffecten getoetst (inclusief de interactie met de locatie). Het model voor drogestofopbrengst was als volgt:

$$Y = \mu_{ijk} + \beta_l + \delta_{il} + \underline{\varepsilon}_m + \underline{\varepsilon}_{im} + \underline{\varepsilon}_{lm} + \underline{\varepsilon}_{imn} + \underline{\varepsilon}_{ilm} + \underline{\varepsilon}_{imno} + \underline{\varepsilon}_{jlmn} + \underline{\varepsilon}_{jkl} + \underline{\varepsilon}_{ilmno}$$

Met:

Y : responsvariabele, in dit geval drogestofopbrengst in kg/ha

μ_{ijk} : gemiddelde waarde bij behandeling drainbehandeling i , stikstofbemesting j en slootpeilniveau k ,

β_l : effect van kalenderjaar l .

δ_{il} : effect van drainbehandeling i per kalenderjaar l .

$\underline{\varepsilon}_{m,im,lm,imn,ilm,imno,ilmn,jkl,ilmno}$: Randeffecten van respectievelijk perceel, drainplot binnen perceel, blok binnen drainplot binnen perceel, veldje binnen blok binnen drainplot binnen perceel en alle interactietermen daarvan met kalenderjaar. Voor alle randomeffecten geldt dat de effecten een normale verdeling volgen met een gemiddelde van 0 en een spreiding σ : $\underline{\varepsilon}_i \sim N(0, \sigma^2)$.

3.10 Neerslagtekort

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

Voor de proeflocaties is per weerjaar het neerslagtekort (neerslag – verdamping) per maand bepaald. Daarbij zijn de neerslagdata en de Makkinkverdamping (ETref) betrokken van respectievelijk het dichtstbijzijnde neerslag- en het weerstation. Voor KTC Zegveld staat het resultaat in Tabel 7 voor de weerjaren van de proeven die er successievelijk zijn uitgevoerd (2004-2021). De negatieve getallen geven een tekort aan. De neerslagdata zijn betrokken van Zegveld (KNMI station 470) en de verdampingsdata van weerstation Schiphol (KNMI station 240).

Tabel 7 Neerslag – verdamping per maand en per jaar voor 2004-2021 gebaseerd op neerslag van neerslagstation Zegveld (KNMI station 470) en de Makkinkverdamping (ETref) van weerstation Schiphol (KNMI station 240).

Maand	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Januari	117	44	5	69	69	39	45	76	67	44	85	106	113	47	91	57	44	76
Februari	36	47	37	67	11	37	67	43	14	26	57	52	56	52	3	42	134	25
Maart	19	11	38	34	58	6	17	-25	-17	10	-18	22	21	1	31	66	15	1
April	-26	3	-29	-89	-30	-49	-42	-70	19	-36	-38	-53	20	-33	25	-45	-67	-11
Mei	-66	-43	11	38	-52	-44	-14	-73	-18	29	13	-41	-27	-59	-13	-21	-101	37
Juni	-30	-4	-81	126	-83	-58	-82	-6	-10	-43	-77	-72	78	-54	-103	4	-22	-50
Juli	35	52	-106	104	63	-28	-37	67	-7	-79	27	-7	-42	52	-133	-61	-20	-50
Augustus	88	11	145	-42	19	-39	128	38	1	-75	54	53	-39	-6	-8	-35	-32	1
September	15	-6	-50	40	20	-10	52	43	13	67	-35	49	-24	80	108	59	15	-45
Oktober	18	4	88	-6	66	47	63	34	102	165	54	-2	27	55	20	81	104	114
November	60	78	87	50	82	102	80	-2	52	117	44	123	69	81	15	104	45	65
December	40	58	69	52	26	78	38	148	151	71	96	34	8	156	88	70	84	48
Totaal	306	254	215	443	250	81	314	273	365	296	263	263	259	371	123	319	201	210

Voor de locaties Kwadijk en Hobrede in polder Zeevang staat het neerslagtekort voor de weerjaren 2007-2010 in Tabel 8. De negatieve getallen geven een tekort aan. De neerslagdata zijn betrokken van Purmerend (KNMI station 242) en de verdampingsdata van weerstation Schiphol (KNMI station 240).

Tabel 8 *Neerslag – verdamping per maand en per jaar voor 2007-2010 gebaseerd op neerslag van neerslagstation Purmerend (KNMI station 242) en de Makkinkverdamping (ETref) van weerstation Schiphol (KNMI station 240).*

Maand	2007	2008	2009	2010
Januari	136	101	53	53
Februari	80	13	42	75
Maart	45	120	9	-1
April	-88	-28	-43	-39
Mei	14	-75	18	-19
Juni	36	-87	-50	-5
Juli	97	66	12	-44
Augustus	-31	12	-60	156
September	64	46	8	73
Oktober	-1	97	33	56
November	68	114	129	61
December	76	43	82	54
Totaal	497	422	230	420

Voor de locatie Warder in polder Zeevang staat het neerslagtekort voor de weerjaren 2012-2014 in Tabel 9. De negatieve getallen geven een tekort aan. De neerslagdata zijn betrokken van Edam (KNMI station 224) en de verdampingsdata van weerstation Schiphol (KNMI station 240).

Tabel 9 *Neerslag – verdamping per maand en per jaar voor 2012-2014 gebaseerd op neerslag van neerslagstation Edam (KNMI station 224) en de Makkinkverdamping (ETref) van weerstation Schiphol (KNMI station 240).*

Maand	2012	2013	2014
Januari	85	52	79
Februari	4	30	42
Maart	-17	6	-18
April	11	-35	-15
Mei	-48	-1	10
Juni	13	-36	-72
Juli	55	-86	-16
Augustus	75	-81	85
September	-1	58	-42
Oktober	116	132	47
November	57	89	29
December	152	76	87
Totaal	502	204	215

Voor de locatie Assendelft en Nauerna staat het neerslagtekort voor de weerjaren 2018-2021 in Tabel 10. De negatieve getallen geven een tekort aan. De neerslagdata zijn betrokken van het neerslagstation Assendelft (KNMI station 263) en de verdampingsdata van weerstation Schiphol (KNMI station 240). De zomers van 2018-2020 waren relatief droog. In 2021 waren de maanden mei en juni relatief nat.

Tabel 10 Neerslag – verdamping per maand en per jaar voor 2018-2021 gebaseerd op neerslag van neerslagstation Assendelft (KNMI station 263) en de Makkinkverdamping (ETref) van weerstation Schiphol (KNMI station 240).

Maand	2018	2019	2020	2021
Januari	63	46	45	69
Februari	-1	24	119	28
Maart	24	62	-12	3
April	16	-49	-65	-11
Mei	-79	-67	-106	9
Juni	-96	37	-19	18
Juli	-131	-42	2	-30
Augustus	27	-11	-8	-12
September	29	104	6	-28
Oktober	20	121	157	157
November	8	115	41	94
December	88	69	144	57
Totaal	-32	407	303	355

4 Resultaten

4.1 Maaiveldhoogte

De gemeten grondwaterstanden zijn beschouwd in relatie tot de maaiveldhoogte van de proefpercelen. De gemiddelde maaiveldhoogte gemeten in het vroege voorjaar (maart) per locatie per perceel over de betreffende proefperiode voor de proeven met onderwaterdrains met een vast slootpeil staat in Tabel 11.

Tabel 11 Gemiddelde maaiveldhoogte in cm ten opzichte van NAP gemeten in het vroege voorjaar (maart) per locatie, per perceel en over de betreffende proefperiode voor de referentie en de onderwaterdrain-behandeling met de betreffende drainafstand(en).

Locatie	Slootpeilbeheer	Perceel	Referentie	Drainafstand			
				4 m	6 m	8 m	12 m
Hobrede	'laag'	9	-229		-228		
Kwadijk	'laag'	3	-226		-223		
Warder	'midden'	21	-210	-211			
		22	-206	-210			
		12	-211	-205			
		13	-208	-211			
Zegveld 0 (2004-2007)	'hoog'	11	-223	-224		-223	-224
		13	-227	-230		-230	-227
		2	-262	-265		-267	-264
		3	-261	-269		-266	-266
Zegveld 1 (2008-2015)	'hoog'	11	-225	-225		-225	
		13	-235	-231		-230	-224
		2	-264	-267		-268	-263
		3	-266	-273		-269	-267

De verschillen in maaiveldhoogte tussen de referentie en de drainbehandelingen binnen een proef waren in de meeste gevallen kleiner dan of gelijk aan 5 cm. Voor Warder perceel 12 was de referentie 6 cm lager dan de drainbehandeling en voor Zegveld 0 perceel 3 was de referentie 8 cm hoger dan bij de drainbehandeling met een drainafstand 4 m. Voor Zegveld 1 perceel 13 lag de referentie 9 cm lager dan bij de drainbehandeling met een drainafstand 12 m en voor perceel 3 lag de referentie 7 cm hoger dan bij de drainbehandeling met een drainafstand 4 m. Voor perceel 13 was de referentie in Zegveld1 8 cm lager dan in Zegveld 0, terwijl voor de drainbehandeling met een drainafstand 12 m het maaiveld 3 cm was gestegen. De overige behandelingen waren nagenoeg gelijk is gebleven. Voor perceel 11 en 2 was de daling voor de referentie 2 cm en voor perceel 3 was het 5 cm. Het verschil in daling van de referenties voor de vier percelen tussen beide proefperiodes kon niet gegeven worden.

De verschillen binnen een proef zijn meegenomen in de interpretatie van de verschillen in gemeten grondwaterstanden tussen de behandelingen.

Voor de proef met onderwaterdrains in combinatie met een dynamisch slootpeilbeheer staat de gemiddelde voorjaarsmaaiveldhoogte per perceel over de betreffende proefperiode in Tabel 12.

Tabel 12 Gemiddelde voorjaarsmaaiveldhoogte in cm ten opzichte van NAP per perceel over de betreffende proefperiode voor de referentie en de onderwaterdrainbehandeling met dynamisch slootpeilbeheer en de betreffende drainafstanden.

Locatie	Slootpeilbeheer	Perceel	Referentie	Drainafstand			
				4 m	6 m	8 m	12 m
Zegveld	'winter hoog'	7b	-235	-235		-232	
		8b	-232	-231		-231	
	'winter laag'	Vo2	-261	-263		-260	
		Zw1	-262	-263		-261	

Het verschil tussen de gemiddelde maaiveldhoogtes van de behandelingen binnen een perceel bedroeg maximaal 3 cm en was dus relatief klein.

De gemiddelde voorjaarsmaaiveldhoogte per locatie per perceel over de betreffende proefperiode voor de proeven met drukdrains (Assendelft en Nauerna) en drukdrains en onderwaterdrains (Zegveld) staat in Tabel 13.

Tabel 13 Gemiddelde voorjaarsmaaiveldhoogte in cm ten opzichte van NAP per proeflocatie per perceel over de betreffende proefperiode voor de referentie en de onderwaterdrainbehandelingen.

Locatie	Slootpeilbeheer	Perceel	Referentie	Drukdrains 4 m	Onderwaterdrains 4 m
Assendelft	'laag'	1	-188	-197	
		2	-192	-199	
		3	-202	-203	
		4	-202	-210	
		5	-207	-207	
	'midden'	6	-207	-221	
Nauerna	'hoog'	7	-200	-206	
Zegveld	'hoog'	13	-238	-233	-233
		14	-238	-243	-239
	'laag'	15	-259	-258	-259
		16	-249	-248	-250

Doordat in Assendelft de referentie en de drainhandeling op verschillende percelen lagen, waren hier de verschillen in maaiveldhoogtes relatief groot voor perceel 1, 2, 4 en 6 met respectievelijk 9, 7, 8, 14 cm. In Nauerna was het verschil 6 cm en op proefbedrijf KTC Zegveld waren de verschillen kleiner dan of gelijk aan 5 cm.

4.2 Drooglegging

De drooglegging heeft invloed op het grondwaterstandsverloop en de gemiddelde hoogte van de grondwaterstand en is een factor in de verklaring van verschillen tussen de drainbehandelingen en de referentie. Voor de referentie en de onderwaterdrainbehandelingen is de drooglegging berekend als verschil tussen het slootpeil en de gemiddelde maaiveldhoogte (paragraaf 4.1).

Vervolgens zijn de droogleggingen vertaald in een klasse voor het slootpeil, te weten 'hoog' (10-20 cm), 'midden' (30-40 cm) en 'laag' (50-60 cm).

Onderwaterdrains met vaste slootpeilen

De gemiddelde drooglegging per locatie per perceel over de betreffende proefperiode voor de proeven met onderwaterdrains met een vast slootpeil staat in Tabel 14.

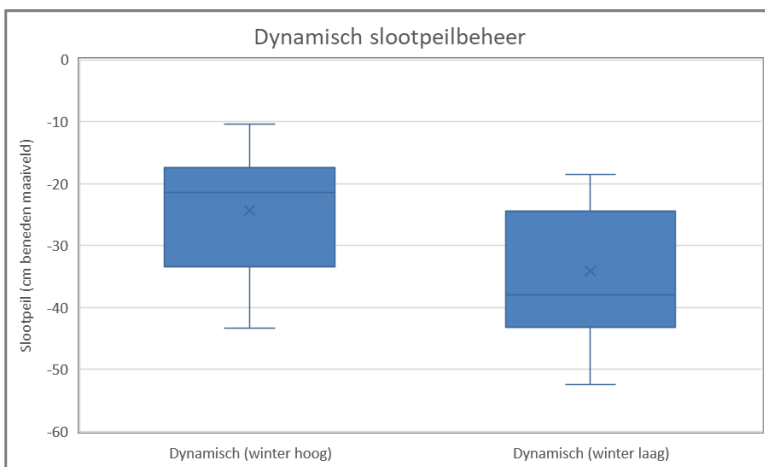
Tabel 14 Gemiddelde drooglegging in cm per locatie per perceel met onderwaterdrains en vaste slootpeilen.

Locatie	Slootpeil	Perceel	Drooglegging
Hobrede	'laag'	9	54
Kwadijk	'laag'	3	51
Warder	'midden'	21	32
		22	35
	'laag'	12	52
		13	56
Zegveld 0	'hoog'	11	19
(2004-2007)		13	15
	'laag'	2	52
		3	54
Zegveld 1	'hoog'	11	22
(2008-2015)		13	11
	Laag	2	55
		3	53

Op de locatie Zegveld was in beide proefperioden de drooglegging op perceel 13 geringer dan op perceel 11. In de tweede periode was het verschil groter.

Onderwaterdrains met dynamisch slootpeil

Voor het onderzoek met dynamisch slootpeilbeheer op proeflocatie Zegveld staat voor de behandelingen 'winter hoog' en 'winter laag' de slootpeilvariatie in Figuur 4.1.



Figuur 4.1 Slootpeilvariatie dynamisch slootpeilbeheer voor de behandelingen 'winter hoog' en 'winter laag'. De weergegeven kaders en lijnen betreffen de verdeling van resultaten in kwartielen, met het gemiddelde (x), de mediaan en de uitschieters. De lijnen geven variabiliteit buiten het bovenste en onderste kwartiel aan.

Gemiddeld lag het slootpeil bij 'winter laag' 10 cm lager dan bij 'winter hoog'.

Drukdrains

De gemiddelde drooglegging per locatie per perceel over de betreffende proefperiode voor de proeven met drukdrains en onderwaterdrains (proeflocatie Zegveld) staat in Tabel 15.

Tabel 15 Gemiddelde drooglegging in cm per locatie per perceel met drukdrains en drukdrains en onderwaterdrains (proeflocatie Zegveld).

Locatie	Slootpeil	Perceel	Drooglegging
Assendelft	'laag'	1	57
	'laag'	2	55
	'laag'	3	60
	'laag'	4	53
	'laag'	5	57
	'midden'	6	42
Nauerna	'midden'	7 ¹⁾	(40-45)
Zegveld	'hoog'	13	19
	'hoog'	14	21
	'laag'	15	52
	'laag'	16	62

¹⁾ Geen metingen slootpeil beschikbaar

Op de proeflocatie Zegveld waren de droogleggingen van perceel 13 en 15 kleiner dan de vergelijkbare percelen binnen de slootpeilbehandeling respectievelijk perceel 14 en 16. Het verschil tussen perceel 15 en 16 van 10 cm was relatief groot.

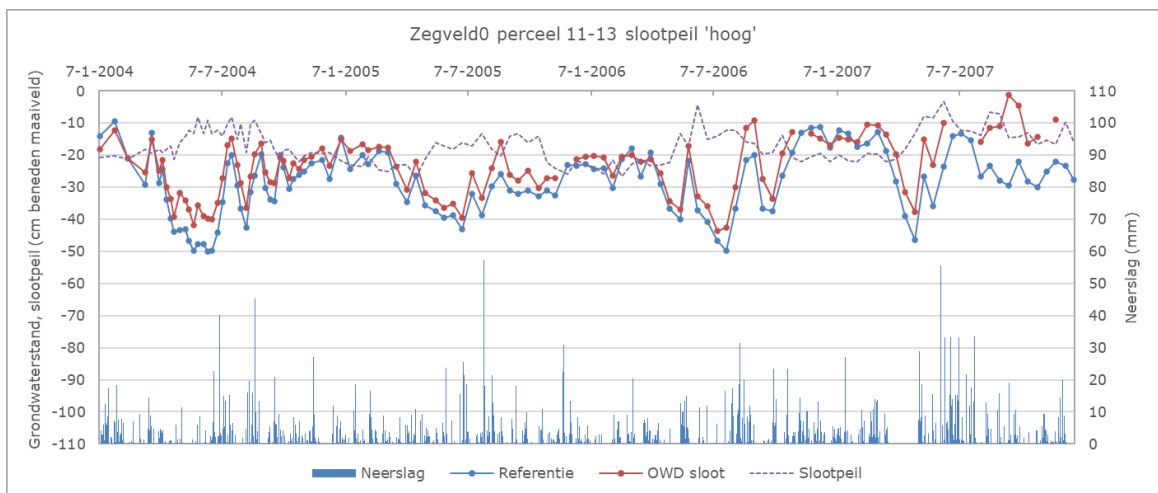
4.3 Grondwaterstanden

4.3.1 Metingen

In deze paragraaf staat voor (1) onderwaterdrains met vaste slootpeilen, (2) onderwaterdrains met dynamische slootpeil en (3) drukdrains en onderwaterdrains per locatie per veldproef het verloop van de gemeten grondwaterstanden beschreven en zijn deze voor de referentie en de drainbehandelingen weergegeven in grafieken. De resultaten zijn weergegeven per locatie en gemiddeld per slootpeilregime (1 of 2 percelen). De resultaten per afzonderlijk perceel staan in Bijlage 5. Daar waar zowel de referentie als de drainbehandeling op een zelfde perceel lagen zijn de grondwaterstanden weergegeven ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van het betreffende perceel.

Onderwaterdrains met vaste slootpeilen

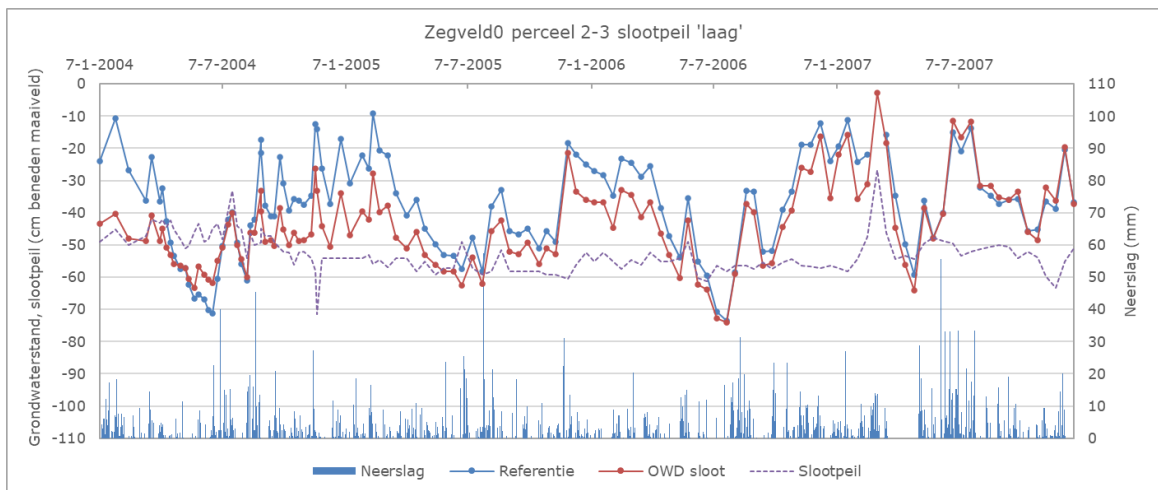
Voor de proef met onderwaterdrains, die uitgevoerd is op locatie Zegveld in 2004-2007 (Zegveld 0) staan de resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij slootpeil 'hoog' gemiddeld voor perceel 11 en 13 en gemiddeld over de drainafstanden (4, 8 en 12 m) in Figuur 4.2.



Figuur 4.2 Grondwaterstandsverloop referentie en onderwaterdrains (OWD-sloot), slootpeilverloop (slootpeil 'hoog') en neerslag (KNMI station 260) voor proeflocatie Zegveld gemiddeld over de drainafstanden (4, 8 en 12 m) voor perceel 11-13 (2004-2007).

Het toepassing van onderwaterdrains bij slootpeil 'hoog' leidde tot een vlakker grondwaterstandsverloop ten opzichte van de referentie, met vooral een verhoging van de grondwaterstand in het zomerhalfjaar. In de zomers van 2004 en 2007 werd de grondwaterstand met ongeveer 10 cm verhoogd. Op perceel 13 was de infiltratie in de zomer groter dan op perceel 11 door de geringere drooglegging op perceel 13. Na perioden met een fors neerslagoverschot was, door het geringe verschil tussen de grondwaterstand en het slootpeil, de drainerende werking onvoldoende om de stijging in de grondwaterstand kleiner te laten zijn dan in het referentiedeel. Het effect van onderwaterdrains nam toe met het kleiner worden van de drainafstand, echter het verschil tussen de drainafstanden was relatief klein (zie Bijlage 4).

De resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij slootpeil 'laag' gemiddeld voor perceel 2 en 3 en gemiddeld over de drainafstanden (4, 8 en 12 m) op locatie Zegveld in 2004-2007 (Zegveld 0) staan in Figuur 4.3.

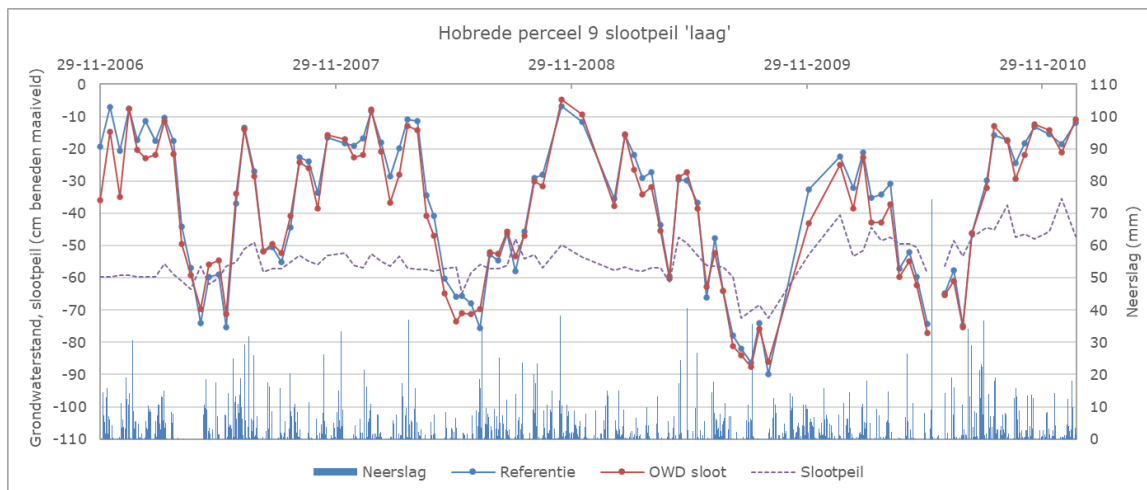


Figuur 4.3 Grondwaterstandsverloop referentie en onderwaterdrains (OWD-sloot), slootpeilverloop (slootpeil 'laag') en neerslag (KNMI station 260) voor proeflocatie Zegveld gemiddeld over de drainafstanden (4, 8 en 12 m) voor perceel 2-3 (2004-2007).

Het toepassen van onderwaterdrains bij een slootpeil 'laag' leidde eveneens tot een vlakker grondwaterstandsverloop, maar had in tegenstelling tot slootpeil 'hoog' vooral een verlagend effect op de grondwaterstand ten tijde van een neerslagoverschot. De referentiegrondwaterstand bij slootpeil 'laag' was in de zomer ongeveer 15-20 cm lager dan bij slootpeil 'hoog'.

In 2004 hadden de onderwaterdrains zowel een verlagend effect op de grondwaterstanden in de winter, als een verhogend effect op de grondwaterstanden in de zomer. In het nattere jaar 2005 werd de grondwaterstand bij slootpeil 'laag' uitsluitend verlaagd. In 2006 was dit ook grotendeels het geval. In de relatief droge maand juli waren de grondwaterstanden voor de referentie en onderwaterdrains gelijk. Onderwaterdrains lieten op dit moment dus niet het gewenste verhogende effect zien. Dit kwam vooral door drukverlies tussen oppervlaktewater en grondwater, doordat eind juni het slootpeil tot onder de 60 cm beneden maaiveld zakte. In 2007 was het verloop van de grondwaterstanden voor de referentie en onderwaterdrains nagenoeg gelijk. Evenals bij slootpeil 'hoog' nam het effect van onderwaterdrains toe met het kleiner worden van de drainafstand. Ook hier was het verschil tussen de drainafstanden relatief klein (zie Bijlage 4).

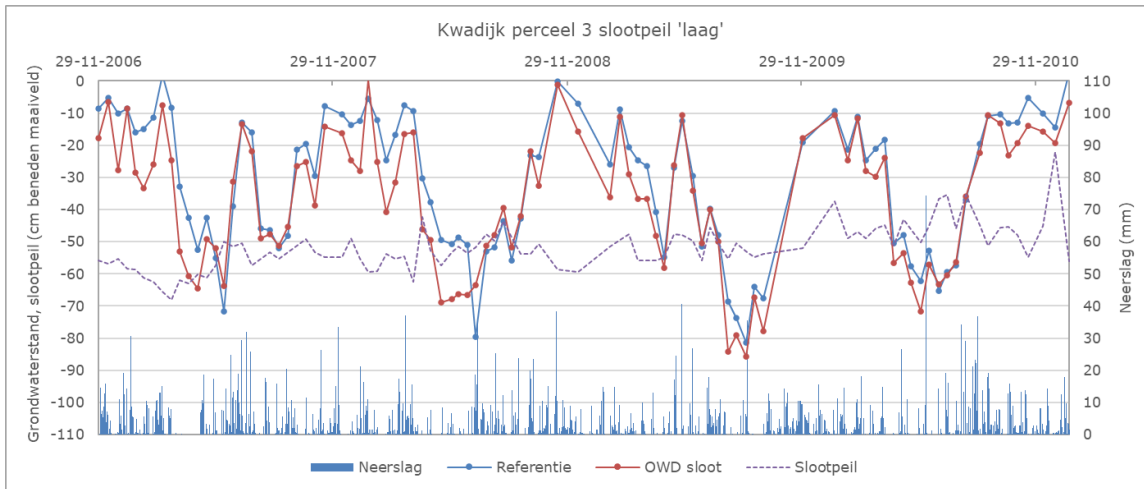
Voor het experiment dat uitgevoerd is in polder Zeevang in 2007-2010 staan de resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij een 'laag' slootpeil op de proeflocatie Hobrede in Figuur 4.4.



Figuur 4.4 Grondwaterstandsverloop referentie en onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 6 m), slootpeilverloop (slootpeil 'laag') en neerslag (KNMI station 242) voor proeflocatie Hobrede perceel 1 (2007-2010).

Op de proeflocatie Hobrede was slechts zeer beperkt sprake van een vlakker verloop van de grondwaterstand door het toepassen van onderwaterdrains. Zowel een extra drainerende als infiltrerende werking waren niet duidelijk waarneembaar.

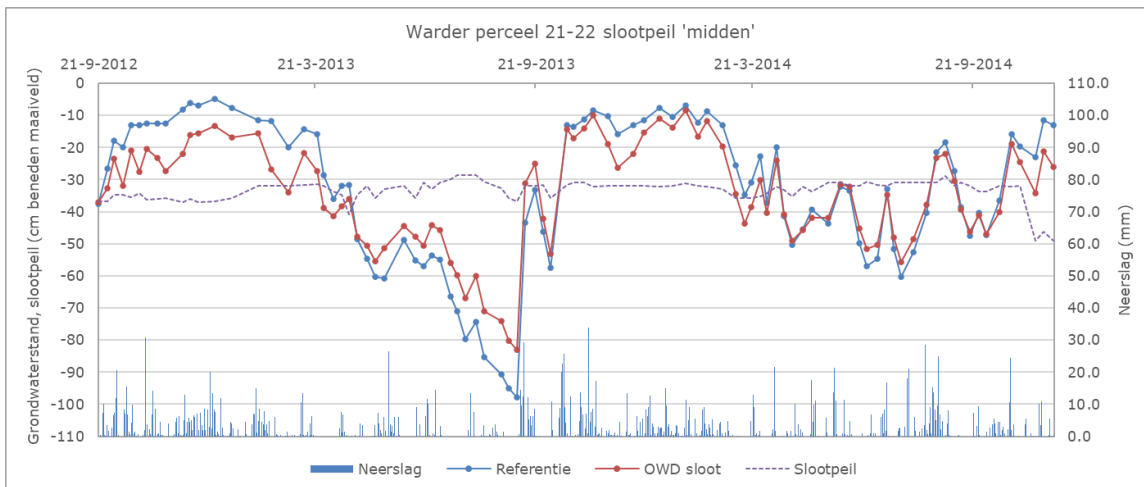
Voor proeflocatie Kwadijk in polder Zeevang (2007-2010) staan de resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij een 'laag' slootpeil in Figuur 4.5.



Figuur 4.5 Grondwaterstandsverloop referentie en onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 6 m), slootpeilverloop (slootpeil 'laag') en neerslag (KNMI station 242) voor proeflocatie Kwadijk perceel 1 (2007-2010).

Evenals in Hobrede gaven onderwaterdrains in Kwadijk slechts een zeer beperkt vlakker grondwaterstandsverloop. Ook hier was een extra drainerende en infiltrerende werking niet duidelijk waarneembaar.

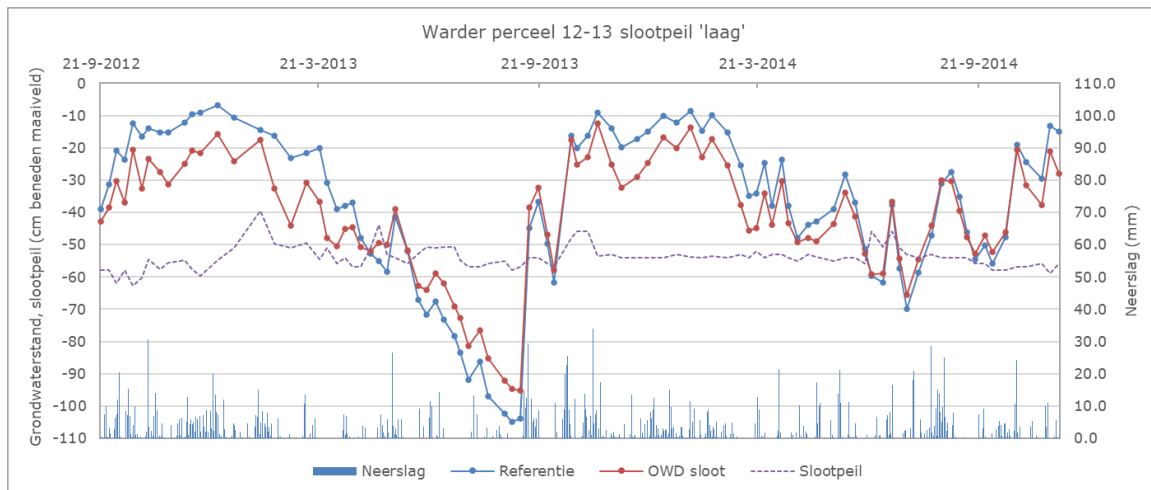
Voor de proef die uitgevoerd is in polder Zeevang op de proeflocatie Warder in 2012-2014 staan de resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij een slootpeil 'midden' in Figuur 4.6.



Figuur 4.6 Grondwaterstandsverloop referentie en onderwaterdrains (drainafstand 4 m), slootpeilverloop (slootpeil 'midden') en neerslag (KNMI station 224) voor proeflocatie Warder perceel 21-22 (2012-2014).

De zomer van 2013 was relatief droog en dit liet bij slootpeil 'midden' een verhoging van de laagste grondwaterstand zien van gemiddeld 15 cm voor de proefpercelen 21 en 22. Tevens werd de wintergrondwaterstand verlaagd. De zomer van 2014 was relatief nat waardoor in dit jaar de verschillen tussen de zomergrondwaterstand in de referentie- en onderwaterdrainsvlakken kleiner waren.

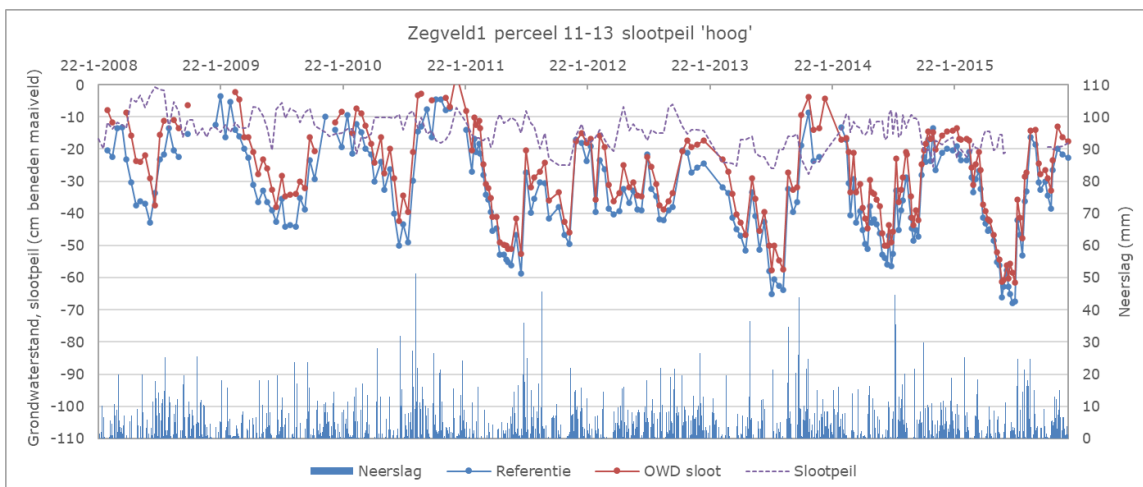
De resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij een slootpeil 'laag' op de proeflocatie Warder (2012-2014) staan in Figuur 4.7.



Figuur 4.7 Grondwaterstandsverloop referentie en onderwaterdrains (drainafstand 4 m), slootpeilverloop (slootpeil 'laag') en neerslag (KNMI station 224) voor proeflocatie Warder perceel 12-13 (2012-2014).

Ook bij een 'laag' slootpeil werd in de zomer van 2013 de grondwaterstand verhoogd, echter het verschil van gemiddeld 10 cm was minder groot en het grondwater bereikte een diepere stand. In de winterperioden werd evenals bij een slootpeil 'midden' extra water afgevoerd, en in de zomer van 2014 was nagenoeg geen effect zichtbaar.

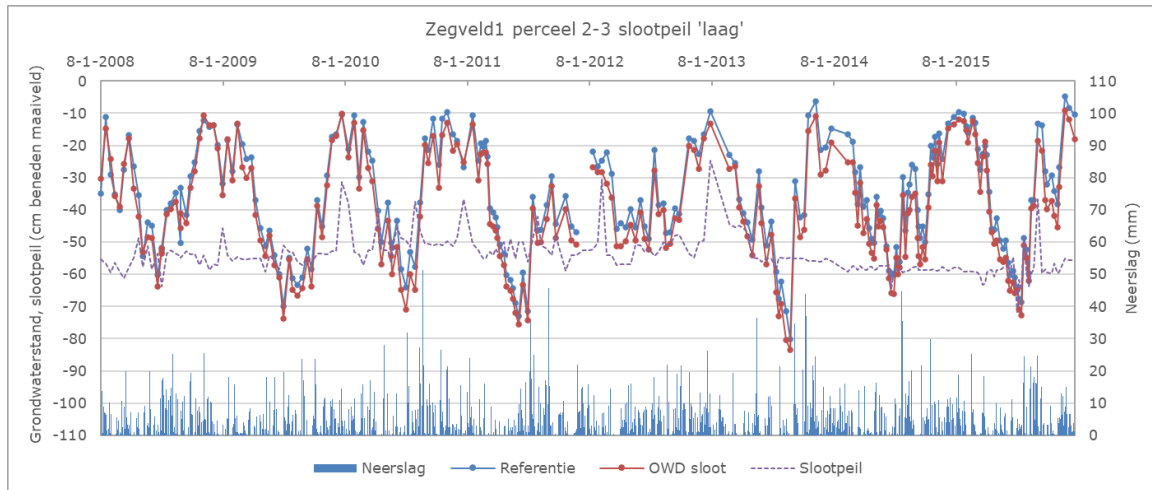
Voor de proef die uitgevoerd is op de proeflocatie Zegveld in 2008-2015 staan de resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij een 'hoog' slootpeil gemiddeld voor perceel 11 en 13 en gemiddeld over de drainafstanden (4, 8 en 12 m) in Figuur 4.8.



Figuur 4.8 Grondwaterstandsverloop referentie en onderwaterdrains gemiddeld voor de drainafstanden (4, 8 en 12 m), slootpeilverloop (slootpeil 'hoog') en neerslag (KNMI station 260) voor proeflocatie Zegveld perceel 11-13 (2008-2015).

De resultaten van 2008-2015 laten een vergelijkbaar beeld zien als die van 2004-2007. De toepassing van onderwaterdrains bij een hoog slootpeil verhoogde de grondwaterstand in het zomerhalfjaar met 5-10 cm, echter in het winterhalfjaar was dit ook het geval. De grondwaterstanden werden uitsluitend verhoogd en hadden geen vlakker verloop. Het verschil tussen de drainafstanden 4 en 8 m was wederom relatief klein.

De resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij een 'laag' slootpeil op proeflocatie Zegveld gemiddeld voor perceel 2 en 3 en gemiddeld over de drainafstanden (4, 8 en 12 m) in 2008-2015 staan in Figuur 4.9.

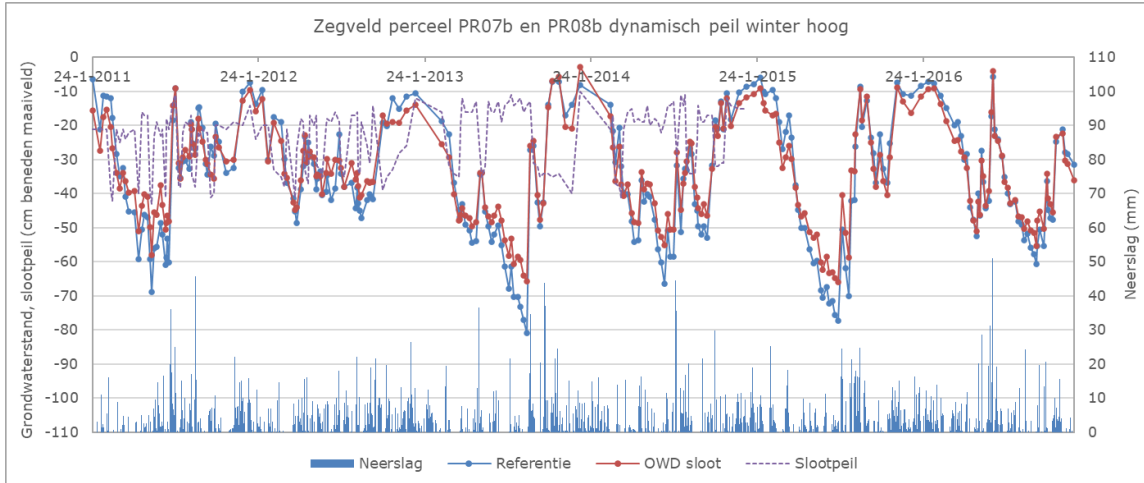


Figuur 4.9 Grondwaterstandsverloop referentie en onderwaterdrains gemiddeld voor de drainafstanden (4, 8 en 12 m), slootpeilverloop (slootpeil 'laag') en neerslag (KNMI station 260) voor proeflocatie Zegveld perceel 2-3 (2008-2015).

Het toepassen van onderwaterdrains bij een laag slootpeil had een gering verlagend effect op de grondwaterstand ten tijde van een neerslagoverschot. Van een verhogend effect bij een neerslagtekort was geen sprake. De drainafstand had niet of nauwelijks effect en het verschil tussen perceel 2 en 3 was relatief klein. Ten opzichte van 2004-2007 zijn de drains minder goed gaan functioneren.

Onderwaterdrains met dynamisch slootpeil

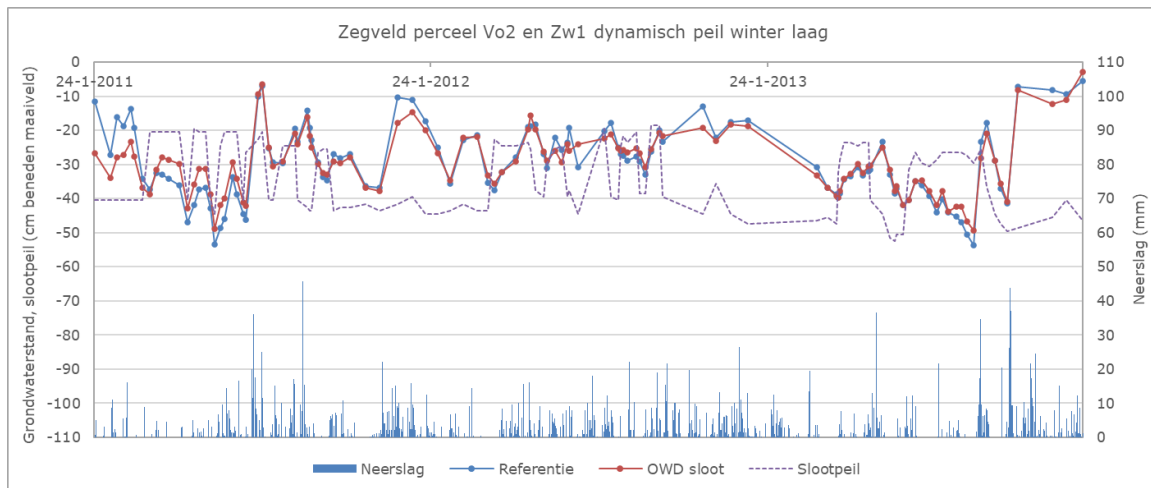
Voor de proef met dynamisch slootpeilbeheer die uitgevoerd is op de proeflocatie Zegveld in 2011-2016 staan de resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij een 'hoog' slootpeil in de winterperiode in Figuur 4.10.



Figuur 4.10 Grondwaterstandsverloop referentie en onderwaterdrains (drainafstand 8 m), slootpeilverloop (dynamisch 'winter hoog') en neerslag (KNMI station 260) voor proeflocatie Zegveld perceel 7b-8b (2011-2016).

Het dynamische peilbeheer zorgde voor een vlakker grondwaterstandsverloop. In de zomers werd de laagste grondwaterstand met 10-15 cm verhoogd en in de winters werden hoge grondwaterstanden met 5-10 cm verlaagd.

De resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij een 'laag' slootpeil in de winterperiode bij dynamisch slootpeilbeheer op de proeflocatie Zegveld in 2011-2013 staan in Figuur 4.11.

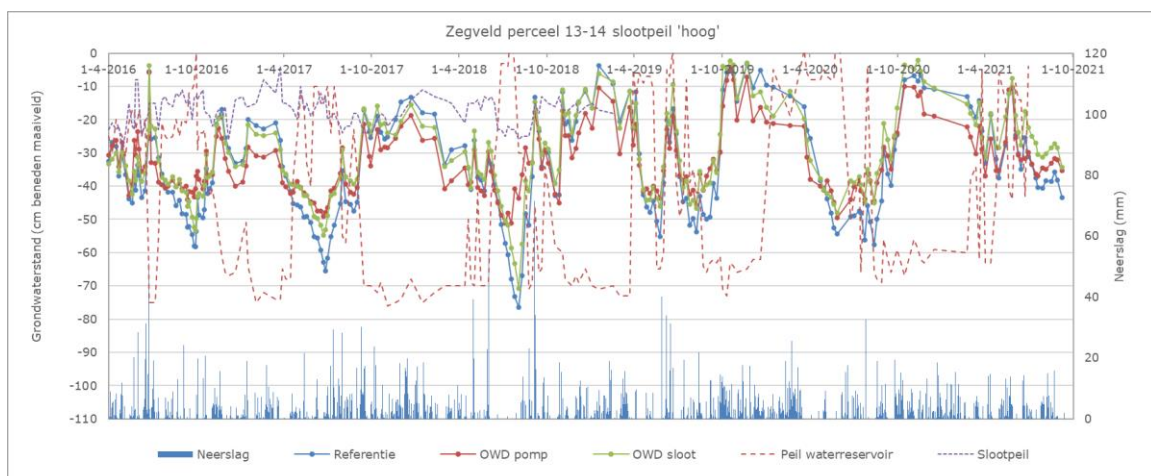


Figuur 4.11 Grondwaterstandsverloop referentie en onderwaterdrains (drainafstand 8 m), slootpeilverloop (dynamisch 'winter laag') en neerslag (KNMI station 260) voor proeflocatie Zegveld perceel VO2-ZW1 (2011-2013).

Op de percelen VO2 en ZW1 was het grondwaterstandsverloop eveneens vlakker, maar was het verhogende effect relatief klein doordat op deze percelen relatief veel kwel optrad. Het verlagende effect tijdens natte perioden in de winter was relatief groter door het lage slootpeil in de winterperiode.

Drukdrains en onderwaterdrains

Voor de proef met drukdrains en onderwaterdrains, die uitgevoerd is op de proeflocatie Zegveld in 2016-2021, staan de resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij een 'hoog' slootpeil in Figuur 4.12. De grondwaterstanden zijn per meetmoment per drainbehandeling gemiddeld en weergegeven ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte van de betreffende percelen. De grondwaterstanden werden van maart tot en met oktober wekelijks en in de wintermaanden tweewekelijks gemeten. Tot 22 juni 2016 was het waterpeil in de waterreservoirs gelijk aan het slootpeil, omdat de apparatuur voor het reguleren van het peil in de reservoirs nog niet operationeel was. Vanaf 22 juni 2016 is het peil in de reservoirs afhankelijk gesteld van de actuele grondwaterstand en de weersverwachting, zoals dat in paragraaf 3.4 is gespecificeerd.

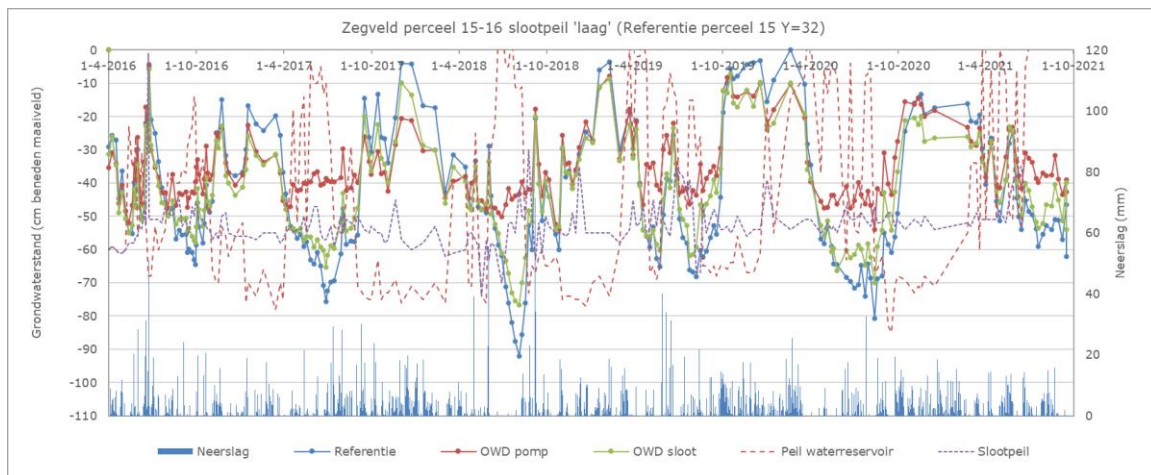


Figuur 4.12 Grondwaterstandsverloop referentie en onderwaterdrains (OWD sloot, drainafstand 6 m), drukdrains (OWD pomp, drainafstand 6 m), slootpeilverloop (slootpeil 'hoog'), peil in het waterreservoir en neerslag (KNMI station 260) voor proeflocatie Zegveld perceel 13-14 (2016-2021).

Het verloop van de grondwaterstand was voor drukdrains aanmerkelijk vlakker dan voor de referentie en onderwaterdrains. Het grondwatervniveau was bij drukdrains in het zomerhalfjaar van de proefjaren 40-50 cm beneden maaiveld en benaderde daarmee de streefgrondwaterstand van 40 cm. De streefgrondwaterstand werd in het winterhalfjaar niet gehaald. Voor onderwaterdrains werden ook de grondwaterstanden verhoogd ten opzichte van de referentie, maar in een beperktere mate.

In het vroege voorjaar en in het relatief natte najaar van 2017 hadden drukdrains een additioneel drainerend effect ten opzichte van onderwaterdrains. Tijdens neerslagpieken in het zomerhalfjaar steeg de grondwaterstand op alle drainobjecten tot in het maaiveld door een geringere bergingscapaciteit van de bodem in vergelijking met de referentie, echter het teveel aan water werd bij drukdrains sneller afgevoerd, zoals na de neerslagpiek op 23 juni 2016 (57 mm). Overigens steeg tijdens deze neerslagpiek het slootpeil van zowel het lage als het hoge peil tot het gemiddelde maaiveldniveau van de betreffende percelen. De percelen stonden een korte tijd voor een groot deel onder water. Het polderpeil was op dat moment zodanig hoog dat de waterafvoer voor gehele locatie Zegveld stagneerde.

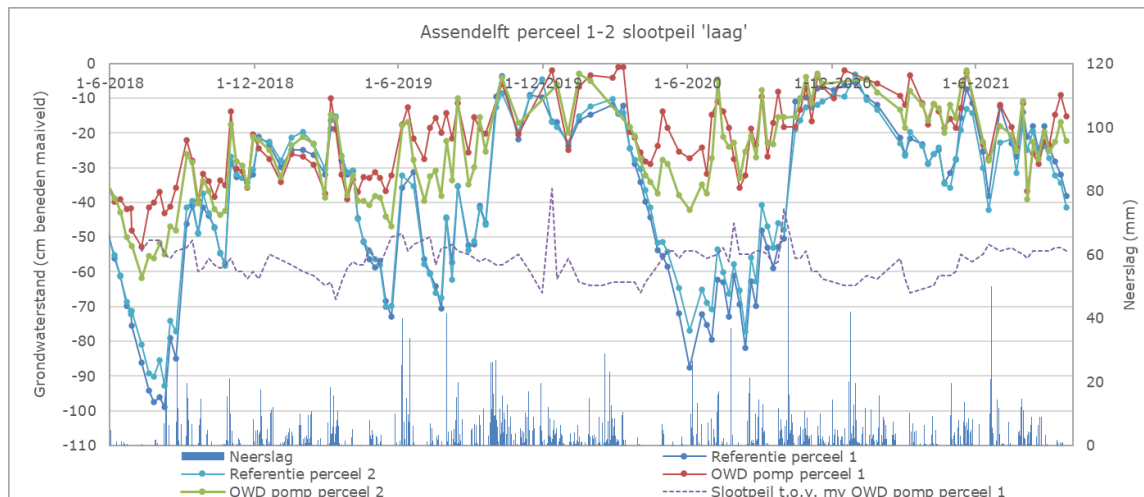
De resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij een 'laag' slootpeil voor de proef met drukdrains die uitgevoerd is op de proeflocatie Zegveld in 2016-2021 staan in Figuur 4.12. Voor de percelen met een laag slootpeil bleek op perceel 15 de grondwaterstanden van de referentie aan de kant van perceel 14 (met een hoog slootpeil) verhoogd te worden. In Figuur 4.12 is voor de referentie alleen de meetraai met grondwaterstanden geselecteerd aan de kant perceel 16 (Y=32), welke niet beïnvloed leek te worden door het hoge slootpeil van perceel 14 en 13.



Figuur 4.13 Grondwaterstandsverloop referentie en onderwaterdrains (OWD sloop, drainafstand 6 m), drukdrains (OWD pomp, drainafstand 6 m), slootpeilverloop (slootpeil 'laag'), peil in het waterreservoir en neerslag (KNMI station 260) voor proeflocatie Zegveld perceel 15-16 (2016-2021).

Bij drukdrains werd de streefgrondwaterstand niet altijd gehaald, al lagen de grondwaterstanden boven het slootpeil. Op perceel 16 werd een lagere verhoging gerealiseerd dan op perceel 15, omdat de peilsturing van perceel 16 gebaseerd was op grondwaterstanden van perceel 15. Bij aansturing op basis van perceel 16, zou perceel 15 te veel vernatten. Dit was een gevolg van de ongeveer 10 cm hogere ligging van perceel 16 ten opzichte van perceel 15. In de droge zomer van 2018 was het verschil tussen de laagste grondwaterstand bij drukdrains en de referentie maar liefst 40 cm. Voor onderwaterdrains was op dat moment het verschil met de referentie 20 cm en bleek ook deze behandeling de infiltratie aanzienlijk te bevorderen. Beide drainbehandelingen hadden een aanzienlijk verlagend effect op de grondwaterstand in het vroege voorjaar, vooral in 2017, 2018 en 2020.

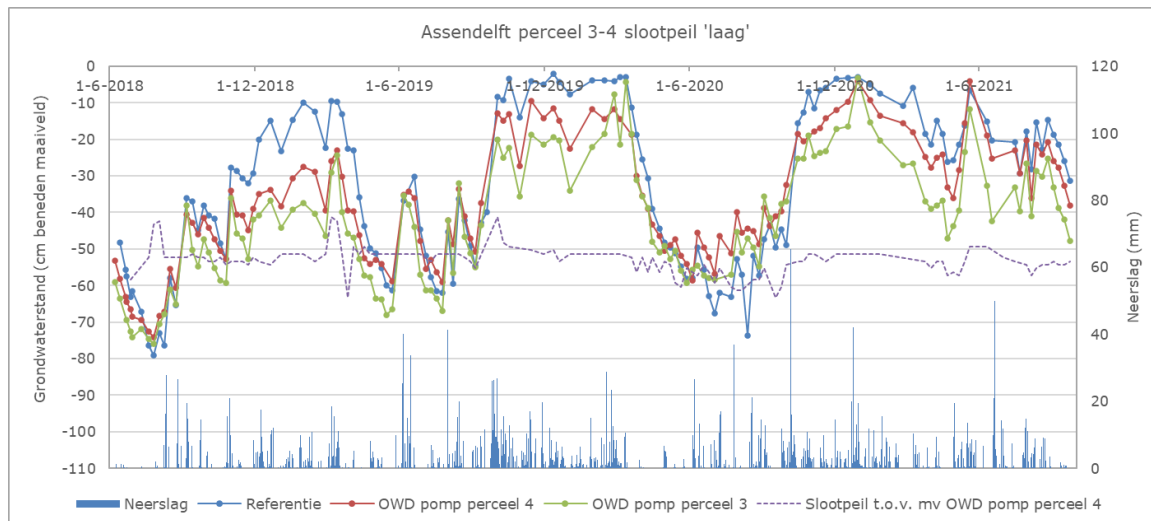
Voor de proef met drukdrains die uitgevoerd is op de proeflocatie Assendelft in 2018-2021 staan de resultaten van de grondwaterstanden gemeten op perceel 1 en 2 bij een 'laag' slootpeil in Figuur 4.14.



Figuur 4.14 Grondwaterstandsverloop referentie en drukdrains (OWD pomp, drainafstand 4 m), slootpeilverloop (slootpeil 'laag') en neerslag (KNMI station 263) voor proeflocatie Assendelft perceel 1-2 (2018-2021). Het slootpeil is weergegeven ten opzichte van het maaiveld (mv) van perceel 1 met drukdrains.

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

De gemeten grondwaterstanden op perceel 3 en 4 bij een 'laag' slootpeil in de proef op de locatie Assendelft in 2018-2021 staan in Figuur 4.15.

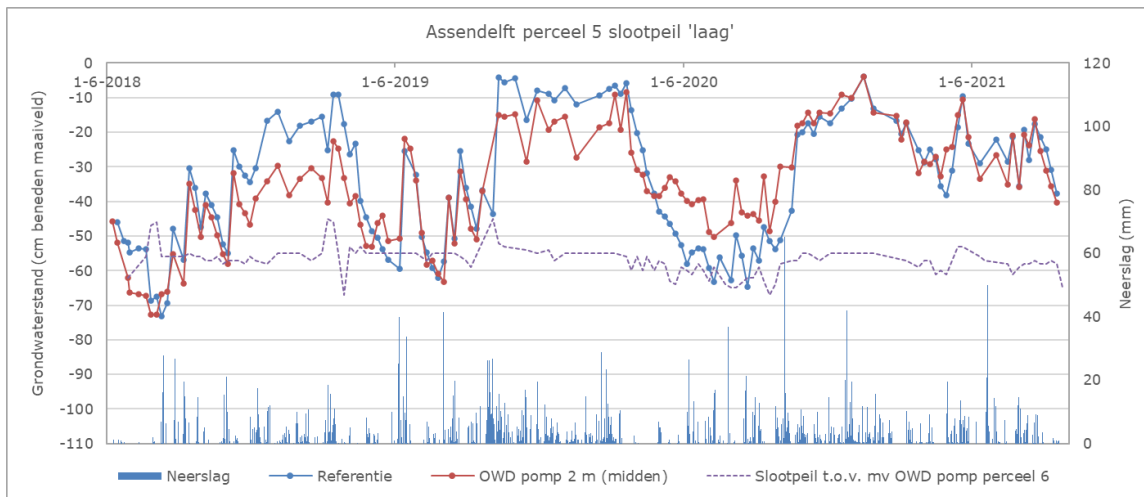


Figuur 4.15 Grondwaterstandsverloop referentie en drukdrains (OWD pomp, drainafstand 4 m), slootpeilverloop (slootpeil 'laag') en neerslag (KNMI station 263) voor proeflocatie Assendelft perceel 3-4 (2018-2021). Het slootpeil is weergegeven ten opzicht van het maaiveld (mv) van perceel 4 met drukdrains.

Op perceel 3-4 waren in de winter van 2018 en in het vroege voorjaar van 2019 de grondwaterstanden bij drukdrains aanmerkelijk lager dan van de referentie. Dit betekent dat de drains extra water afvoerden. In het groeiseizoen van 2018 werd alleen passief geïnfiltreerd, omdat het waterreservoir wel verbonden was met de sloot, maar de pompen nog niet functioneerden. Dit verhoogde de grondwaterstand in de droge periode van 2018 met slechts enkele centimeters. Pas vanaf begin augustus 2019 was het systeem zodanig operationeel dat ook actief geïnfiltreerd kon worden en in 2020 was hiervan het effect te zien. Echter, door een te grote vlotteruitslag, waardoor het systeem te laat startte met infiltreren, werd de streefgrondwaterstand niet gehaald. De vlotteruitslag werd daarna aangepast, echter te laat om hier in de zomer van 2020 een verhogend effect van te zien. In 2021 werd uiteindelijk wel de streefgrondwaterstand gehaald, maar lag de grondwaterstand in het referentieperceel hoger dan bij de onderwaterdrains als gevolg van de relatief natte zomer en mogelijk kwel. De drains hebben in deze zomerperiode dus voornamelijk bijgedragen aan drainage.

In februari 2020 is actief gedraineerd om eerder het land op te kunnen voor het uitrijden van drijfmest. Evenals voor perceel 1 en 2 waren ook voor perceel 3 en 4 de effecten op de grondwaterstand tussen de percelen onderling niet gelijk voor drukdrains.

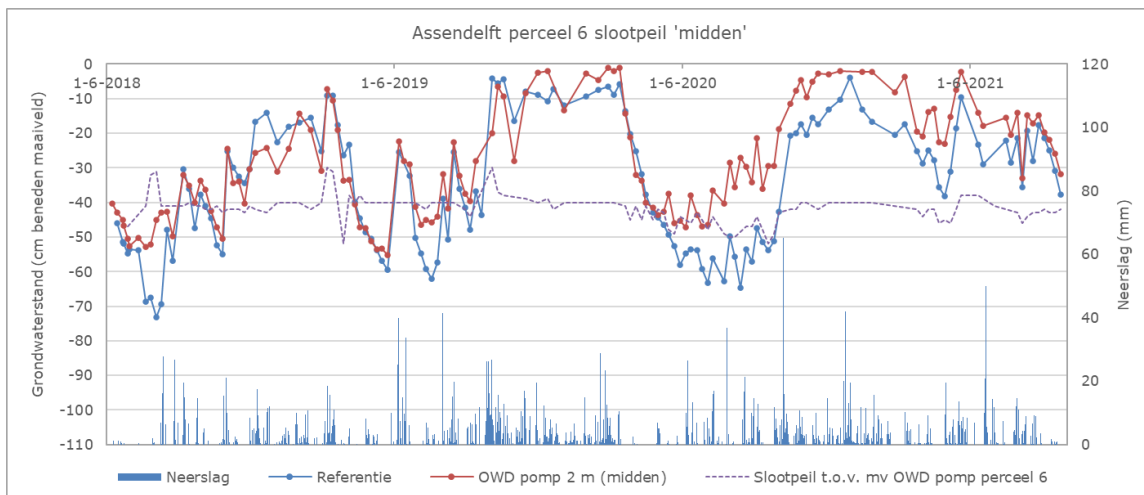
De gemeten grondwaterstanden op perceel 5 bij een slootpeil 'laag' van locatie Assendelft in 2018-2021 staan in Figuur 4.16.



Figuur 4.16 Grondwaterstandsverloop referentie en drukdrains (OWD pomp, drainafstand 4 m), slootpeilverloop (slootpeil 'midden') en neerslag (KNMI station 263) voor proeflocatie Assendelft perceel 5 (2018-2021). Het slootpeil is weergegeven ten opzicht van het maaiveld (mv) van perceel 6 met drukdrains.

In 2018 en 2019 was op perceel 5 geen sprake van extra infiltratie, maar was wel duidelijk een drainerend effect waarneembaar in de winterperiode. In 2020 is door een aanpassing van de waterreservoirs en pompen ook op perceel 5 het infiltreren gaan functioneren. In de natte zomerperiode van 2021 zijn geen grote verschillen in grondwaterstand tussen de referentie en drukdrains waarneembaar. Op perceel 5 is in februari 2020 actief gedraineerd om eerder het land op te kunnen voor het uitrijden van drijfmest.

De gemeten grondwaterstanden op perceel 6 bij een slootpeil 'midden' van locatie Assendelft in 2018-2021 staan in Figuur 4.17.

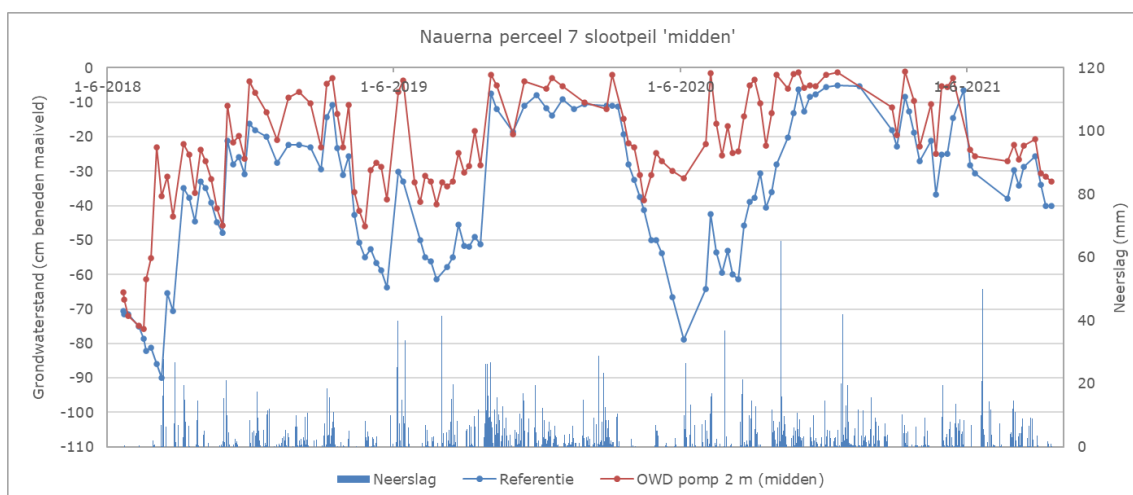


Figuur 4.17 Grondwaterstandsverloop referentie en drukdrains (OWD pomp, drainafstand 4 m), slootpeilverloop (slootpeil 'midden') en neerslag (KNMI station 263) voor proeflocatie Assendelft perceel 6 (2018-2021). Het slootpeil is weergegeven ten opzicht van het maaiveld (mv) van perceel 6 met drukdrains.

Op perceel 6 was vanaf de start van de proef het effect van extra infiltratie te zien, echter door een te grote vlotteruitslag werd het streefpeil in de eerste twee jaren niet gehaald.

Gedurende de wintermaanden lag de grondwaterstand in het drukdrainperceel veelal gelijk of hoger dan in het referentieperceel.

Voor de proef met drukdrains die uitgevoerd is op een natuurgrasperceel in polder Zuiderven en op de locatie Nauerna in 2018-2021 zijn de resultaten van de grondwaterstanden gemeten bij een 'midden' slootpeil weergegeven in Figuur 4.18.



Figuur 4.18 Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor referentie en drukdrains (OWD-pomp, drainafstand 4 m) bij slootpeil 'midden' en neerslag (KNMI station 263) voor perceel 7 van proeflocatie Nauerna (2018-2021).

Op perceel 7 werd de zomergrondwaterstand bij drukdrains aanzienlijk verhoogd ten opzichte van de referentie. In 2018 bedroeg het maximale verschil met de referentiesituatie ongeveer 50 cm, ondanks dat het systeem pas eind juli functioneerde. In 2019 was dit verschil ongeveer 20 cm en in 2020 wederom 50 cm.

Vanaf begin juni 2020 was de effectiviteit van de aansturing aanzienlijk verbeterd en kon vanaf dat moment het grondwater op een hoger niveau van 20-25 cm gehouden worden. In 2021 was het verschil tussen de drukdrains en de referentie relatief klein door een neerslagoverschot in mei-juni en een relatief gering neerslagtekort in juli-september (zie paragraaf 3.9).

4.3.2 GHG en GLG

Op basis van de gemeten grondwaterstanden zijn per proef voor de betreffende reeks van proefjaren per perceel en per drainbehandeling de hydrologische parameters GHG en GLG berekend op basis van respectievelijk de HG3 en LG3. Deze waarden zijn berekend ten opzichte van het gemiddelde maaiveld van de behandelingen. In de winterperiode is in een aantal proeven aanmerkelijk minder frequent gemeten en dat geval zijn alle grondwaterstanden meegenomen in de berekening.

Onderwaterdrains met vaste slootpeilen

Voor de proeven met onderwaterdrains bij vaste slootpeilen staan de GHG en GLG voor de referentie en onderwaterdrains per locatie per slootpeilniveau in Tabel 16.

Tabel 16 De GHG en GLG (cm) per locatie per slootpeilniveau (hoog, midden, laag) voor de referentie en onderwaterdrains (OWD).

Behandeling	Hobrede 'laag'	Kwadijk 'laag'	Warder 'midden'	Warder 'laag'	Zegveld0 'hoog'	Zegveld0 'laag'	Zegveld1 'hoog'	Zegveld1 'laag'
<i>GHG</i>								
Referentie	13	8	6	9	14	15	14	12
OWD	16	15	15	19	12	21	12	18
Vershil	3	7	9	9	-2	7	-2	6
<i>GLG</i>								
Referentie	69	58	51	60	43	61	48	60
OWD	71	65	46	58	35	61	41	64
Vershil	3	7	-4	-2	-8	0	-7	4

Op de locaties Hobrede en Kwadijk met slootpeil 'laag' en een drainafstand van 6 m werden de GHG en GLG in dezelfde mate verlaagd. Op de locatie Warder met slootpeil 'midden' en 'laag' werden de GHG verlaagd en de GLG verhoogd. Daarbij was de GLG bij een slootpeil 'midden' hoger dan bij 'laag' en was de verhoging van de GLG groter. Op de locatie Zegveld werd bij slootpeil 'hoog' zowel de GHG als de GLG verhoogd. Bij een slootpeil 'laag' werd de GHG verlaagd en de GLG bleef gelijk in 2004-2007 en daalde in 2008-2015. Dit betekent dat in 2004-2007 het grondwaterstandsverloop enigszins afgevlakt werd en dat daar in 2008-2015 nog nauwelijks sprake van was.

Onderwaterdrains met dynamisch slootpeil

Voor de proeven met onderwaterdrains en een dynamisch slootpeilbeheer op proeflocatie Zegveld staan de GHG en GLG voor de referentie en onderwaterdrains in Tabel 17.

Tabel 17 De GHG en GLG (cm) bij dynamisch slootpeilbeheer met een hoog winterpeil (perceel 7b en 8b) en een laag winterpeil (perceel VO2 en ZW1) voor de referentie en onderwaterdrains op proeflocatie Zegveld.

Behandeling	Dynamisch peil winter hoog 7b-8b	Dynamisch peil winter laag ZW1-VO2
<i>GHG</i>		
Referentie	10	14
OWD 4 m	15	20
OWD 8 m	13	16
Vershil OWD 4 m	-4	-6
Vershil OWD 8 m	-3	-2
<i>GLG</i>		
Referentie	60	41
OWD 4 m	51	36
OWD 8 m	54	39
Vershil OWD 4 m	9	5
Vershil OWD 8 m	7	2

Onderwaterdrains verlaagden bij het dynamisch slootpeil met een hoog winterpeil de GHG met 4 en 3 cm en verhoogden de GLG met 9 en 7 cm voor respectievelijk de drainafstand van 4 en 8 m. Bij het dynamisch slootpeil met een laag winterpeil verlaagden onderwaterdrains de GHG met 6 en 2 cm en verhoogden de GLG met 5 en 2 cm voor respectievelijk de drainafstand van 4 en 8 m. Op de percelen VO2 en ZW1 was het verhogende effect in het zomerhalfjaar relatief klein doordat op deze percelen kwel optrad. Voor deze percelen was het verlagende effect in het winterhalfjaar bij een drainafstand van 4 m groter door het lage slootpeil in de winterperiode.

Drukdrains en onderwaterdrains

Voor de proeven met drukdrains bij vaste slootpeilen staan de GHG en GLG voor de referentie, drukdrains en onderwaterdrains (Zegveld) in Tabel 18.

Tabel 18 De GHG en GLG (cm) per locatie (Zegveld=ZV, Assendelft=AD, Nauerna=NA) per slootpeilniveau (hoog, midden, laag) voor de referentie, drukdrains (OWD pomp) en onderwaterdrains (OWD sloot). Voor ZV was de onderzoeksperiode 2016-2021 en voor AD en NA was dit 2018-2021.

Behandeling	ZV13-14 'hoog'	ZV15-16 'laag'	AD1-2 'laag'	AD3-4 'laag'	AD5 'laag'	AD6 'midden'	NA7 'midden'
<i>GHG</i>							
Referentie	15	19	15	10	12	14	12
OWD pomp	22	24	13	20	20	10	8
OWD sloot	17	27					
Verschil OWD pomp	7	6	-2	10	8	-4	-5
Verschil OWD sloot	3	8					
<i>GLG</i>							
Referentie	53	64	65	53	51	53	53
OWD pomp	43	47	37	53	53	42	34
OWD sloot	47	61					
Verschil OWD pomp	-10	-17	-28	0	2	-11	-19
Verschil OWD sloot	-6	-4					

Op de locatie Zegveld verlaagde de GHG en verhoogde de GLG door toepassing van drukdrains en onderwaterdrains. Daarbij hadden drukdrains een groter effect dan onderwaterdrains, uitgezonderd voor perceel ZV15-16, waar onderwaterdrains de GHG verder verlaagde dan de drukdrains.

Op de locatie Assendelft hadden drukdrains op perceel 3-4 en 5 een verlagend effect op de GHG, omdat de betreffende waterreservoirs in de winter open stonden, waardoor extra water via de drains werd afgevoerd. Op perceel 1-2, 6 en perceel 7 (locatie Nauerna) stonden de waterreservoirs dicht en was dit niet het geval. De GLG 's waren op perceel 1-2, 6 en 7 voor drukdrains beduidend hoger dan voor de referentie. De GLG 's waren op perceel 3-4 en 5 voor de drukdrains en de referentie praktisch gelijk, omdat het lang duurde voordat de actieve waterinfiltratie functioneerde.

4.3.3 Statistische analyse

De kern van het statistisch model betrof een 2^e-orde polynoom relatie volgens welke Delta REF en Delta OWD (paragraaf 3.9) zich tot elkaar verhielden. Het verschil tussen de referentie en de drainbehandelingen werd verklaard met de lineaire parameter (richtingscoëfficiënt), het intercept en de kwadratische term uit de relatie.

De lineaire parameter (richtingscoëfficiënt) kwantificeert voor de drainbehandelingen de afwijking van delta BEH ten opzichte van Delta REF ($x=0$). Een lineaire parameter gelijk aan 1 betekent dat veranderingen in de grondwaterstanden van de drainbehandeling overeenkomen met veranderingen van de grondwaterstand van de referentie. Een kleinere waarde dan 1 betekent dat de onderwaterdrainbehandeling de gemiddelde grondwaterstand verhoogt (zomer) of verkleint (winter) ten opzichte van de referentie. Des te kleiner de waarde des te groter het effect. Een lineaire parameter van 0,8 betekent dat de amplitude van het grondwaterstandsverloop voor onderwaterdrains nog 80% van de amplitude van de referentie is. Oftewel door onderwaterdrains is de amplitude dan met 20% afgenomen.

Het intercept kwantificeert voor de drainbehandelingen de afwijking van het gemiddelde niveau van de grondwaterstanden ten opzichte van de gemiddelde grondwaterstand van de referentie ($x=0$). Een verandering van het intercept betekent dat het gemiddelde niveau van de grondwaterstand verschuift. Dit kan veroorzaakt worden door verschil in maaiveldhoogte en/of door een effect van de onderwaterdrainbehandeling.

De kwadratische term uit de polynoomfunctie geeft voor de drainbehandeling een eventueel extra verhoging weer van de grondwaterstand in het zomerhalfjaar of een extra verlaging van de wintergrondwaterstand ten opzichte van de referentie.

Voor onderwaterdrains met vaste slootpeilen, onderwaterdrains in combinatie met dynamisch slootpeilbeheer en drukdrains zijn de analysesresultaten in deze paragraaf uitgewerkt. In Bijlage 5 staan in een figuur per proefperceel per drainbehandeling de tijdreeks van meetwaarden en modelfit.

Onderwaterdrains met vaste slootpeilen

Voor de proeven met onderwaterdrains bij vaste slootpeilen staan de resultaten van de statistische analyse per locatie per slootpeilniveau in Tabel 19. De resultaten betreffen de lineaire parameters, de intercepten en de significante verschillen per proefperceel ten opzichte van een gemiddeld grondwaterniveau van de referentie. Voor onderwaterdrains was de kwadratische term gelijk aan 0, waardoor lineaire relatie resteerde en dat betekent dat zowel het verhogende effect in de zomer als het verlagende effect in de winter van onderwaterdrains op de grondwaterstand ten opzichte van de referentie aan elkaar gelijk waren.

Tabel 19 *Statistische analyse veldproeven onderwaterdrains per locatie per slootpeilbehandeling (vast peil 'laag', 'midden', 'hoog') betreffende lineaire parameters, intercepten en significante verschillen per proefperceel ten opzichte van een gemiddeld grondwaterniveau van de referentie ($x=0$). In de kolommen Paarsgewijze significantie, zijn significante verschillen tussen percelen met verschillende letters aangegeven. Intercept genormaliseerd betreft het intercept ten opzichte van de referentie.*

Perceel	Slootpeil	Lineaire parameter			Intercept genormaliseerd		
		Waarde	Paars-gewijze significantie	Significant verschillend van 1	Waarde	Paars-gewijze significantie	Significant verschillend van 0
Hobrede	'laag'	0,95	cd	ns	-1,9	b	ns
Kwadijk	'laag'	0,93	bcd	ns	-5,0	c	*
Warder	'midden'	0,78	ab	*	-3,6	e	*
Warder	'laag'	0,75	a	*	-4,3	d	*
Zegveld 0	'hoog'	0,81	abc	*	6,5	d	*
Zegveld 0	'laag'	0,75	a	*	-6,0	a	*
Zegveld 1	'hoog'	1,00	d	ns	6,7	d	*
Zegveld 1	'laag'	0,97	d	Ns	-4,2	a	*

Op de locaties Hobrede en Kwadijk hadden onderwaterdrains slechts een zeer beperkt vlakker grondwaterstandsverloop dan de referentie (lineaire parameter niet significant kleiner dan 1). Door het slootpeil 'laag' was de gemiddelde grondwaterstand bij onderwaterdrains lager dan bij de referentie. Voor de locatie Kwadijk was dit significant (genormaliseerd intercept significant verschillend van 0). Op de locaties Warder en Zegveld 0 hadden onderwaterdrains een significant vlakker grondwaterstandsverloop dan de referentie. Daarbij hadden de slootpeilen 'laag' en 'midden' een significant verlagend effect en had het slootpeil 'hoog' een significant verhogend effect op de gemiddelde grondwaterstand. In het vervolg van de proefperiode op locatie Zegveld (Zegveld 1) waren de effecten van onderwaterdrains op het grondwaterstandsverloop nog slechts nihil. Wel werd de gemiddelde grondwaterstand bij slootpeil 'hoog' verhoogd en bij slootpeil 'laag' verlaagd. De mogelijke oorzaken voor de afname van de werking van onderwaterdrains op locatie Zegveld staat in hoofdstuk Discussie paragraaf 5.1.

Onderwaterdrains met dynamisch slootpeil

Voor de proeven met onderwaterdrains en een dynamisch slootpeilbeheer op proeflocatie Zegveld staan de resultaten van de statistische analyse voor een hoog en laag winterpeil in Tabel 20.

Tabel 20 Statistische analyse veldproeven onderwaterdrains met dynamisch slootpeilbeheer per perceel op KTC Zegveld met een hoog en laag winterpeil ('Winter laag', 'Winter hoog') betreffende lineaire parameters, intercepten en significante verschillen per proefperceel ten opzichte van een gemiddeld grondwaterniveau van de referentie ($x=0$). In de kolommen Paarsgewijze significantie, zijn significante verschillen tussen percelen met verschillende letters aangegeven. Intercept genormaliseerd betreft het intercept ten opzichte van de Referentie.

Perceel	Slootpeil	Drain-afstand	Lineaire parameter			Intercept genormaliseerd		
			Waarde	Paars-gewijze significantie	Significant verschillend van 1	Waarde	Paars-gewijze significantie	Significant verschillend van 0
7b	'Winter hoog'	4 m	0,70	b	*	3,8	b	*
8b	'Winter hoog'	4 m	0,79	c	*	0,2	a	ns
7b	'Winter hoog'	8 m	0,77	b	*	3,0	b	*
8b	'Winter hoog'	8 m	0,85	c	*	-0,6	a	ns
VO2	'Winter laag'	4 m	0,62	a	*	2,0	ab	ns
ZW1	'Winter laag'	4 m	0,76	b	*	0,7	a	ns
VO2	'Winter laag'	8 m	0,69	a	*	1,1	ab	ns
ZW1	'Winter laag'	8 m	0,83	b	*	-0,1	a	ns

Onderwaterdrains hadden bij zowel een dynamisch slootpeilbeheer 'winter hoog' als 'winter laag' een significant vlakker grondwaterstandsverloop (lineaire parameter significant kleiner dan 1). Daarbij was het effect bij de drainafstand 4 m groter dan bij 8 m. Des te kleiner de waarde des te groter het effect. Op perceel 7b verhoogden onderwaterdrains de gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van de referentie (genormaliseerd intercept significant verschillend van 0), op de andere percelen was geen significante verandering.

Drukdrains en onderwaterdrains

Voor de proeven met drukdrains en onderwaterdrains bij vaste slootpeilen staan de resultaten van de statistische analyse per locatie per slootpeilniveau in Tabel 21. Het resultaat van de statistische modelanalyse is dat Delta REF en Delta OWD voor drukdrains zich tot elkaar verhielden volgens een 2^e orde polynoom. In perioden met een neerslagtekort (zomerhalfjaar) hadden drukdrains een extra verhogend effect op de grondwaterstand ten opzichte van de referentie en dit komt tot uitdrukking in de kwadratische term. Het betreft een overall analyse voor de locaties Assendelft, Nauerna en Zegveld voor de jaren 2018-2021. Op basis van hetzelfde model is voor de locatie Zegveld ook het effect van onderwaterdrains geanalyseerd. De 2^e orde term was hier 0.

Drukdrains hadden op alle percelen een significant vlakker grondwaterstandsverloop dan de referenties (lineaire parameter significant kleiner dan 1). Op perceel 1 van locatie Assendelft functioneerden drukdrains significant beter dan op de overige percelen. Op perceel 1 was de infiltratie beter dan op perceel 2, mogelijk door een verschil in horizontale doorlatendheid van de bodem. Overigens bleek dit niet uit de (drie) gemeten k-waarden. Op de percelen 3-6 kon pas vanaf augustus 2019 actief geïnfiltreerd worden en kwam het effect hiervan pas in 2020 tot uiting. Dit gaf relatief hoge waarden voor de lineaire parameter. Op perceel 7 functioneerden de drukdrains al vanaf eind juli 2018 en volgens Figuur 4.18 was de infiltratie aanzienlijk. Dit kwam echter niet tot uitdrukking in de lineaire parameter, waarschijnlijk omdat de eerste vijf (relatief diepe grondwaterstanden) in juni-juli 2018 voor de drukdrains en de referentie gelijk waren.

De kwadratische term was voor alle drukdrainsbehandelingen gelijk en dat betekent dat het extra infiltratie-effect in de zomer voor alle percelen met drukdrains gelijk was.

Op de locatie Zegveld waren voor drukdrains de lineaire parameters niet significant verschillend tussen de percelen en dat betekent dat slootpeilverschillen ('hoog' en 'laag' slootpeil) geen invloed hadden op het grondwaterstandsverloop. Drukdrains verlaagde alleen op de locatie Assendelft perceel 1 en 2 en locatie Nauerna perceel 7 de gemiddelde grondwaterstand (intercept) significant ten opzichte van de referentie. Dit kwam echter vooral omdat de drukdrains en de referentie op verschillende percelen lagen, waarvan de maaiveldhoogte verschilde.

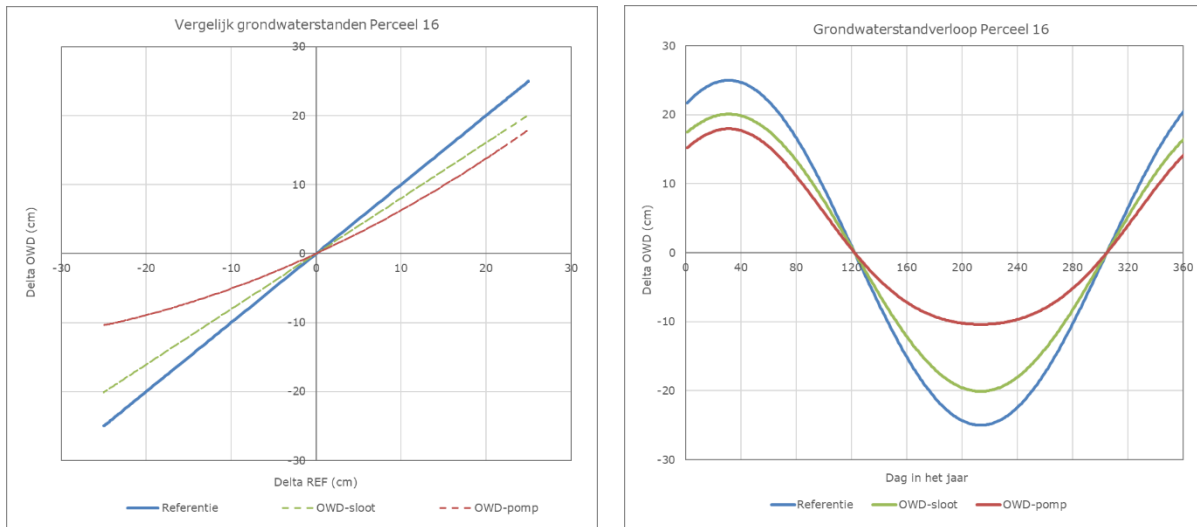
In de vergelijkende proef met drukdrains op KTC Zegveld hadden onderwaterdrains alleen op perceel 14 en 16 een significant vlakker verloop dan de referentie. Het effect van onderwaterdrains was significant lager dan van drukdrains. Het verschil tussen perceel 13 en 14 is mogelijk te verklaren door een verschil in bodemweerstand, al bleek dit niet uit de gemeten K-waarden (Bijlage 1). Uit een draininspectie bleek dat de onderwaterdrains voldoende schoon waren en goed leken te werken (zie paragraaf 5.3.1). Voor perceel 15 was het effect van onderwaterdrains gering door de invloed van het hoge slootpeil van de belendende kavel (perceel 14 en 13) op de referentie. De grondwaterstanden van de referentie waren relatief hoog, waardoor het effect van onderwaterdrains op dit perceel nauwelijks tot uiting kwam.

Tabel 21 Statistische analyse veldproeven drukdrains en onderwaterdrains per locatie per slootpeilbehandeling (vast peil 'laag', 'midden', 'hoog') betreffende lineaire parameters, kwadratische termen, intercepten en significante verschillen per proefperceel ten opzichte van een gemiddeld grondwaterniveau van de referentie ($x=0$) voor 2018-2021. In de kolommen Paarsgewijze significantie, zijn significante verschillen tussen percelen met verschillende letters aangegeven. Intercept genormaliseerd betreft het intercept ten opzichte van de referentie.

Perceel	Slootpeil	Type onderwaterdrains (OWD)	Lineaire parameter			Kwadratische term	Intercept	Intercept		
			Waarde	Paarsgewijze significantie	Significant verschillend van 1			genormaliseerd	Paarsgewijze significantie	Significant verschillend van 0
AD1	'laag'	OWD-Pomp	0,325	a	*	0,006075	15,1	a	*	
AD2	'laag'	OWD-Pomp	0,623	b	*	0,006075	11,8	ab	*	
AD4 ¹⁾	'laag'	OWD-Pomp	0,662	bc	*	0,006075	-6,0	c	ns	
AD6 ¹⁾	'midden'	OWD-Pomp	0,663	bc	*	0,006075	5,2	b	ns	
NA7	'hoog'	OWD-Pomp	0,784	cd	*	0,006075	11,4	ab	*	
ZV13	'hoog'	OWD-Pomp	0,584	bc	*	0,006075	-1,8	bc	ns	
ZV14	'hoog'	OWD-Pomp	0,618	bc	*	0,006075	0,4	bc	ns	
ZV15	'laag'	OWD-Pomp	0,563	b	*	0,006075	1,3	bc	ns	
ZV16	'laag'	OWD-Pomp	0,568	b	*	0,006075	3,9	b	ns	
ZV13	'hoog'	OWD-Sloot	0,875	d	ns	0	0,8	bc	ns	
ZV14	'hoog'	OWD-Sloot	0,758	c	*	0	4,3	b	ns	
ZV15	'laag'	OWD-Sloot	0,922	d	ns	0	-2,7	bc	ns	
ZV16	'laag'	OWD-Sloot	0,804	cd	*	0	2,0	bc	ns	

¹⁾ Pas vanaf augustus 2019 kon actief geïnfilteerd worden

Ter illustratie van de gemodelleerde effecten van de drainbehandelingen, is voor perceel 16 van locatie Zegveld het verloop van de grondwaterstand voor de referentie en de drainbehandelingen weergegeven in Figuur 4.19. De grondwaterstanden zijn weergegeven ten opzichte van de gemiddelde grondwaterstand van de referentie, met een bereik van het grondwatervniveau van +25 cm tot -25 cm ten opzichte van het gemiddelde referentieniveau. Tevens is het cyclische verloop van de grondwaterstand voor de referentie en de drainbehandelingen weergegeven in de tijd ten opzichte van het gemiddelde referentieniveau.



Figuur 4.19 Grondwaterstand voor een situatie zonder onderwaterdrains (referentie), onderwaterdrains op de sloot (OWD-sloot) en drukdrains (OWD-pomp) weergegeven ten opzichte van het gemiddelde grondwatervniveau voor de referentie (links) met een bereik van het grondwatervniveau van +25 cm tot -25 cm ten opzichte van het gemiddelde (normatieve) grondwatervniveau van de referentie. In de rechter grafiek staat het cyclische verloop van de grondwaterstand voor een situatie zonder onderwaterdrains (referentie), onderwaterdrains op de sloot (OWD-sloot) en drukdrains (OWD-pomp) in de tijd ten opzichte van de gemiddelde grondwaterstand van de referentie.

Figuur 4.19 laat zien dat voor onderwaterdrains het effect in het zomer- en winterhalfjaar even groot was. Voor drukdrains was het effect in het zomerhalfjaar aanmerkelijk groter dan in het winterhalfjaar, welke gekwantificeerd wordt door de kwadratische term uit de statistische analyse.

In Tabel 22 staat per perceel het effect van de drainbehandelingen op de grondwaterstand ten opzichte van de referentie in het winter- en zomerhalfjaar bij een grondwatervniveau van respectievelijk +25 cm en -25 cm ten opzichte van het gemiddelde (normatieve) grondwatervniveau van de referentie voor de percelen 13-16 in Zegveld voor de periode van 2016-2021. De effecten betreffen het percentage verlaging in het winterhalfjaar en het percentage verhoging in het zomerhalfjaar ten opzichte van de referentie.

Tabel 22 Het effect van de drainbehandelingen op de grondwaterstand (%) ten opzichte van de referentie in het winter- en zomerhalfjaar bij een grondwaterniveau van respectievelijk +25 cm en -25 cm ten opzichte van het gemiddelde (normatieve) grondwaterniveau van de referentie.

Perceel	Behandeling	Winterhalfjaar	Zomerhalfjaar
13	Onderwaterdrains	12,5	12,5
14	Onderwaterdrains	24,2	24,2
15	Onderwaterdrains	7,8	7,8
16	Onderwaterdrains	19,6	19,6
13	Drukdrains	26,5	56,8
14	Drukdrains	23,0	53,4
15	Drukdrains	28,5	58,9
16	Drukdrains	28,1	58,4

Voor perceel 13 zijn de geschatte grondwaterstanden ten opzichte van het gemiddelde grondwaterniveau voor het winter- en zomerhalfjaar als volgt:

Winterhalfjaar

Referentie	$+25 * (100-0) =$	25,0 cm
Onderwaterdrains	$+25 * (100-12,5) =$	21,9 cm
Drukdrains	$+25 * (100-26,5) =$	18,4 cm

Zomerhalfjaar

Referentie	$-25 * (100-0) =$	-25,0 cm
Onderwaterdrains	$-25 * (100-12,5) =$	-21,9 cm
Drukdrains	$-25 * (100-56,8) =$	-10,8 cm

4.4 Schatting maaiveldddaling en broeikasgasemissie

Op basis van Van den Akker et al. (2007, 2008) is een schatting van de reductie van CO₂- en N₂O-emissie en maaiveldddaling berekend met respectievelijk de formules 1 en 4 uit paragraaf 3.8 behorend bij een veengrond zonder kleidek voor locatie Zegveld en respectievelijk de formules 3 en 5 uit paragraaf 3.8 behorend bij een veengrond met een dun kleidek voor de overige locaties. Deze formules gaan uit van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). De geschatte reducties zijn uitgewerkt voor de proeven met onderwaterdrains bij vast slootpeilen en dynamisch slootpeilbeheer en voor drukdrains.

Onderwaterdrains met vaste slootpeilen

Voor onderwaterdrains met vaste slootpeilen staan de resultaten in Tabel 23.

Tabel 23 De GLG en de op basis hiervan geschatte maaiveldddaling, CO₂- en N₂O-emissie per locatie voor de proeven met onderwaterdrains en vaste slootpeilen ('laag', 'midden', 'hoog') op basis van Van den Akker et al. (2007, 2008).

Behandeling	Hobrede 'laag'	Kwadijk 'laag'	Warder 'midden'	Warder 'laag'	Zegveld 0 'hoog'	Zegveld 0 'laag'	Zegveld 1 'hoog'	Zegveld 1 'laag'
<i>GLG</i>								
Referentie	69	58	51	60	43	61	48	60
OWD	71	65	46	58	35	61	41	64
Verschil	3	7	-4	-2	-8	0	-7	4
<i>Maaiveldddaling (mm.jaar⁻¹)</i>								
Referentie	8,3	5,4	3,4	6,0	3,4	7,7	4,7	7,4
OWD	9,0	7,3	2,2	5,4	1,6	7,7	3,1	8,4
Verschil	0,7	1,9	-1,2	-0,5	-1,8	0,0	-1,7	1,0
<i>CO₂-emissie (t CO₂ ha⁻¹.jaar⁻¹)</i>								
Referentie	12,9	7,2	3,3	8,4	6,5	17,9	10,0	17,0
OWD	14,3	10,9	1,0	7,3	1,8	17,8	5,6	19,6
Verschil	1,4	3,7	-2,3	-1,0	-4,7	-0,1	-4,4	2,6
<i>NO₂-emissie (t CO₂ eq ha⁻¹.jaar⁻¹)</i>								
Referentie	1,5	0,8	0,4	1,0	0,7	2,1	1,2	2,0
OWD	1,7	1,3	0,1	0,8	0,2	2,1	0,6	2,3
Verschil	0,2	0,4	-0,3	-0,1	-0,5	0,0	-0,5	0,3

De verlagingen van de GLG op de locaties Hobrede, Kwadijk en Zegveld 1 (slootpeil 'laag') leidden tot een geschatte vergroting van maaiveldddaling, CO₂- en N₂O-emissie en de verhogingen van de GLG op de locaties Warder en Zegveld 0 en 1 (slootpeil 'hoog') leidden tot een geschatte vermindering van maaiveldddaling en emissies. Het toepassen van onderwaterdrains bij een hoog slootpeil leidde tot de grootste reducties.

Onderwaterdrains met dynamisch slootpeil

Voor onderwaterdrains met een dynamisch slootpeilbeheer staan de geschatte veranderingen in maaiveldddaling en emissies voor de betreffende percelen in Zegveld in Tabel 24.

Tabel 24 De GLG en de op basis hiervan geschatte maaiveldddaling, CO₂- en N₂O-emissie voor de proef met onderwaterdrains met dynamisch slootpeilbeheer (winter 'hoog en laag') locatie Zegveld op basis van Van den Akker et al. (2007, 2008).

Behandeling	Dynamisch winter 'hoog'	Dynamisch winter 'laag'
<i>GLG</i>		
Referentie	60	41
OWD 4 m	51	36
OWD 8 m	54	39
Verschil OWD 4 m	-9	-5
Verschil OWD 8 m	-7	-2
<i>Maaiveldddaling (mm.jaar⁻¹)</i>		
Referentie	7,5	2,9
OWD 4 m	5,4	1,8
OWD 8 m	5,9	2,5
Verschil OWD 4 m	-2,1	-1,1
Verschil OWD 8 m	-1,5	-0,4
<i>CO₂-emissie (t CO₂ ha⁻¹.jaar⁻¹)</i>		
Referentie	17,2	5,2
OWD 4 m	11,7	2,4
OWD 8 m	13,2	4,1
Verschil OWD 4 m	-5,4	-2,8
Verschil OWD 8 m	-4,0	-1,1
<i>NO₂-emissie (t CO₂ eq ha⁻¹.jaar⁻¹)</i>		
Referentie	2,0	0,6
OWD 4 m	1,3	0,3
OWD 8 m	1,5	0,5
Verschil OWD 4 m	-0,6	-0,3
Verschil OWD 8 m	-0,5	-0,1

Een nauwere drainafstand van 4 m leidde tot hogere geschatte reducties van maaiveldddaling, CO₂- en N₂O-emissie dan de drainafstand 8 m. Doordat bij een hoog slootpeil in de winter de verhoging van de GLG het grootst was, leidde dit tot hogere geschatte reducties dan bij een laag winterpeil. Voor Dynamisch winter 'laag' was het verhogende effect op de GLG kleiner dan voor Dynamisch winter 'hoog' doordat hier relatief veel kwel optrad. Ook was de onderzoeksperiode voor Dynamisch winter 'laag' korter waardoor de resultaten niet geheel vergelijkbaar waren.

Drukdrains

Voor drukdrains staan de geschatte veranderingen in maaiveldddaling en emissies voor de betreffende percelen in Zegveld, Assendelft en Nauerna in Tabel 25.

Tabel 25 De GLG en de op basis hiervan geschatte maaiveldddaling, CO₂- en N₂O-emissie per locatie voor de proeven met drukdrains en onderwaterdrains. Voor ZV is de GLG berekend over onderzoeksperiode 2016-2021 en voor AD en NA over 2018-2021.

Behandeling	ZV 'hoog'	ZV 'laag'	AD 1-2 'laag'	AD 3-4 'laag'	AD 5 'laag'	AD 6 'midden'	NA 7 'hoog'
<i>GLG</i>							
Referentie	53	64	65	53	51	53	53
OWD-pomp	43	47	37	53	53	42	34
OWD-sloot	47	61					
Verschil OWD-pomp	-10	-17	-28	0	2	-11	-19
Verschil OWD-sloot	-6	-4					
<i>Maaiveldddaling (mm.jaar⁻¹)</i>							
Referentie	5,6	8,7	7,2	3,9	3,5	3,9	3,9
OWD-pomp	2,9	4,0	0,1	4,0	4,0	1,0	0,0
OWD-sloot	3,9	7,8					
Verschil OWD-pomp	2,6	4,8	-7,2	0,1	0,4	-2,9	-3,9
Verschil OWD-sloot	1,7	1,0					
<i>CO₂-emissie (t CO₂ ha⁻¹.jaar⁻¹)</i>							
Referentie	12,6	19,7	10,8	4,3	3,6	4,3	4,4
OWD-pomp	6,7	9,0	0,0	4,6	4,4	0,0	0,0
OWD-sloot	8,8	17,6					
Verschil OWD-pomp	5,9	10,8	-10,8	0,2	0,8	-4,3	-4,4
Verschil OWD-sloot	3,8	2,2					
<i>NO₂-emissie (t CO₂ eq ha⁻¹.jaar⁻¹)</i>							
Referentie	1,4	2,2	1,3	0,5	0,4	0,5	0,5
OWD-pomp	0,8	1,0	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0
OWD-sloot	1,0	2,0					
Verschil OWD-pomp	0,7	1,2	-1,3	0,0	0,1	-0,5	-0,5
Verschil OWD-sloot	0,4	0,2					

Voor Zegveld leverde de grotere verhoging van de GLG voor drukdrains een grotere reductie van maaiveldddaling, CO₂- en N₂O-emissie dan voor onderwaterdrains. Voor de locaties Assendelft perceel 1-2 en 6 en Nauerna perceel 7, waar de drukdrains het meest effectief waren, zou volgens de gebruikte relaties de maaiveldddaling en broeikasgasemissie volledig teniet gedaan worden (100% reductie). Op de percelen 3, 4 en 5 van de locatie Assendelft hadden de drukdrains door de aanloopproblemen voor wat betreft infiltratie vooral een drainerend effect, waardoor de geschatte maaiveldddaling en broeikasgasemissie gelijk bleef of zelfs toenam.

4.5 Grasopbrengsten

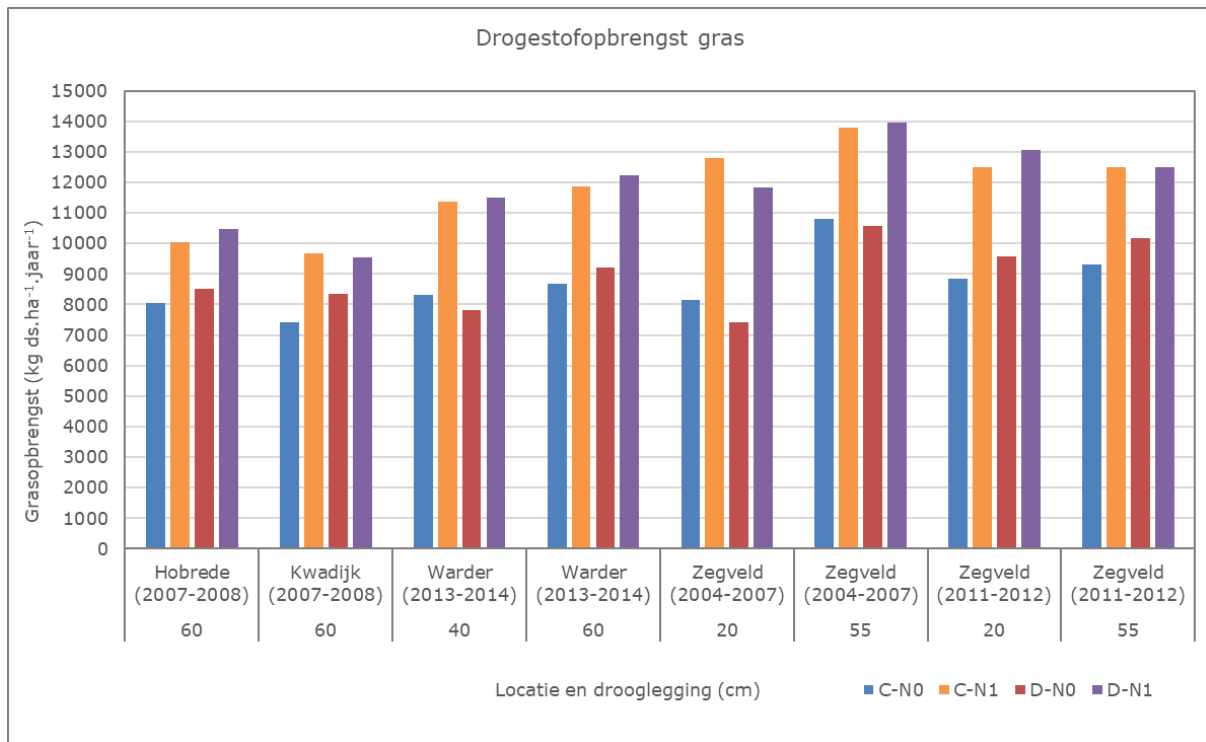
4.5.1 Drogestofopbrengst

De gemiddelde drogestofopbrengsten op jaarbasis per experiment per drooglegging, met en zonder stikstofbemesting, met en zonder onderwaterdrains staan in Tabel 26. Daarbij zijn de verschillen voor de behandelingen wel en geen stikstofbemesting en wel en geen onderwaterdrains aangegeven. De drogestofopbrengsten per snede en per jaar staan in Bijlage 7, Tabel 1.

Tabel 26 Gemiddelde grasopbrengst per experiment per drooglegging met (N1) en zonder (N0) stikstofbemesting, met (D) en zonder (C) onderwaterdrains en de verschillen tussen wel en geen stikstofbemesting (Verschil N0-N1) en wel en geen onderwaterdrains (Verschil D-C).

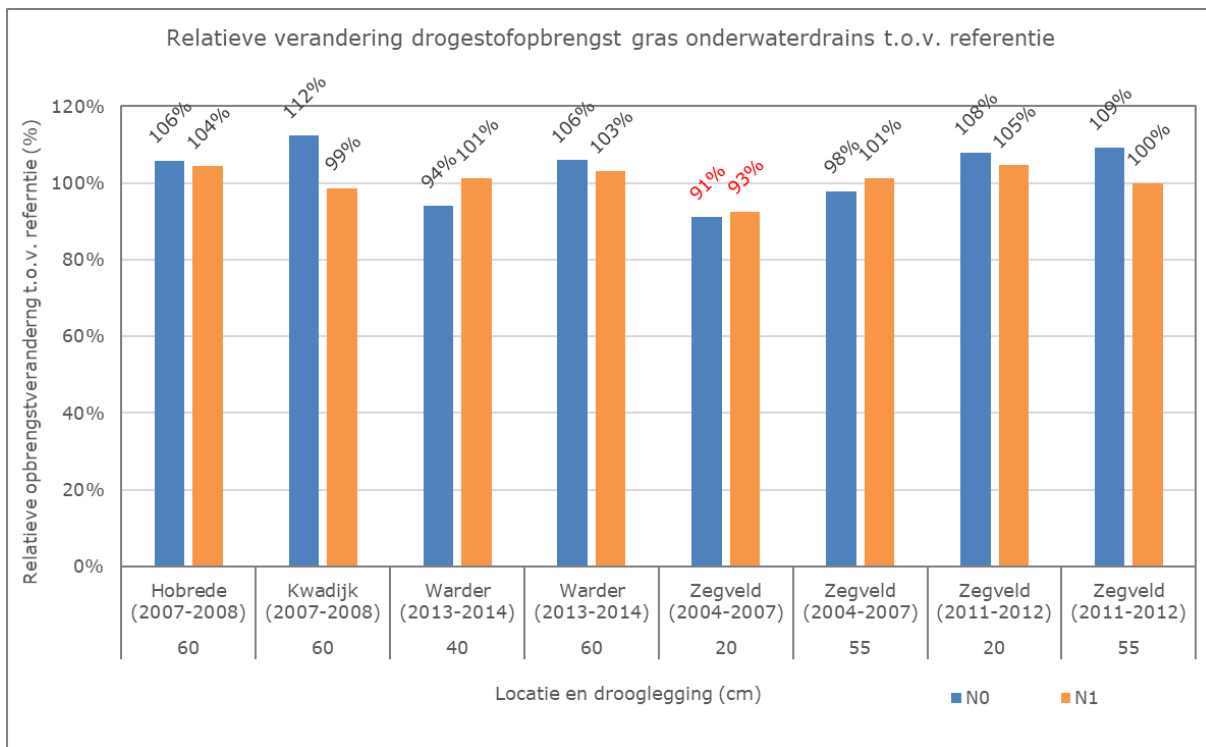
Locatie en periode	Drooglegging	C-N0	C-N1	D-N0	D-N1	Verschil N0-N1		Verschil D-C	
						C	D	N0	N1
Hobrede (2007-2008)	60	8037	10041	8508	10470	2003	1962	470	429
Kwadijk (2007-2008)	60	7431	9683	8343	9553	2251	1210	912	-130
Warder (2013-2014)	40	8304	11355	7805	11486	3051	3681	-499	131
	60	8685	11867	9198	12242	3181	3043	513	375
Zegveld 0 (2004-2007)	20	8151	12792	7419	11839	4641	4420	-732	-953
	55	10803	13786	10574	13955	2982	3380	-229	169
Zegveld 1 (2011-2012)	20	8856	12489	9560	13056	3633	3495	705	567
	55	9299	12500	10156	12493	3201	2337	858	-7

De grasopbrengsten per behandeling per locatie per drooglegging staan eveneens in Figuur 4.20.



Figuur 4.20 Gemiddelde grasopbrengst per experiment per drooglegging met (N1) en zonder (N0) stikstofbemesting, met (D) en zonder (C) onderwaterdrains.

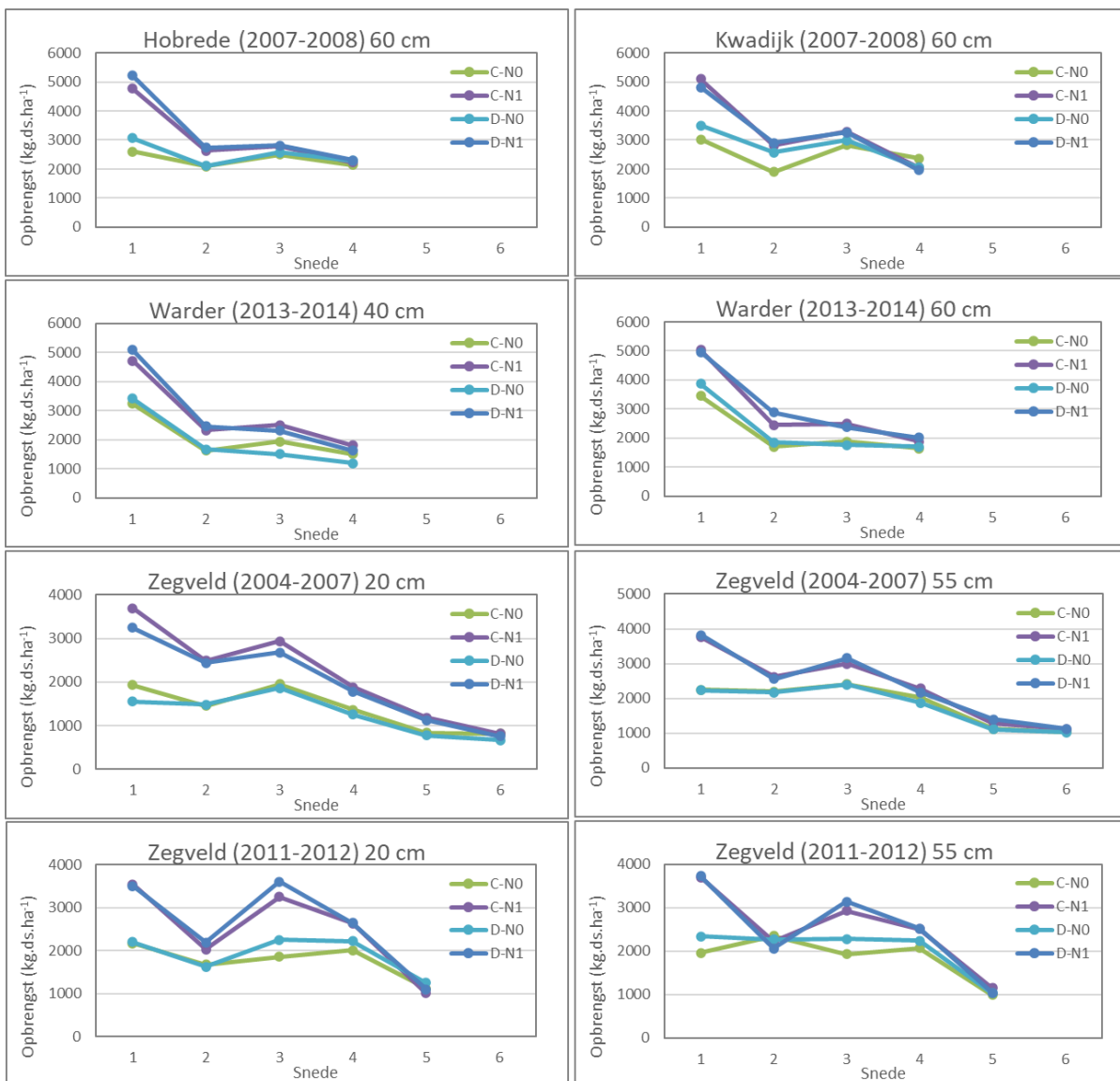
De verschillen in drogestofopbrengst tussen wel en geen drains verschilden per locatie, per drooglegging en stikstofbehandeling, wat duidt op interacties tussen de behandelingen en dat maakt het lastiger om effecten te verklaren. De interactie tussen de behandelingen werd door de statistische analyse bevestigd. Onderwaterdrains hadden een significant interactie-effect op de grasopbrengst voor drooglegging x locatie x stikstofgift ($P = 0,009$). De relatieve verandering in drogestofopbrengst voor onderwaterdrains ten opzichte van de referentie voor beide stikstofniveaus per locatie en drooglegging (cm) staan in Figuur 4.21. Alleen voor Zegveld 2004-2007 met een drooglegging van 20 cm ('hoog' slootpeil) waren de verschillen significant. Voor deze situatie zijn de percentages in rood weergegeven.



Figuur 4.21 Relatieve verandering gemeten drogestofopbrengst onderwaterdrains ten opzichte van de referentiesituatie zonder onderwaterdrains (%) per locatie en drooglegging (cm) met onderscheid tussen stikstofniveaus (N0 en N1). Alleen de percentages in rood waren significant verschillend.

De verwachting is dat opbrengstverschillen vooral worden verklaard door een verschil in stikstofbeschikbaarheid en vochtvoorziening. Veranderende hydrologische condities hebben effect op de mineralisatie van organische stof in de bodem (veenafbraak) en hierdoor kan ook de stikstofbenutting van de gegeven kunstmest veranderen. Een lagere stikstoflevering kan in meer of mindere mate gecompenseerd worden door een hogere stikstofbenutting uit mest. Door naar de stikstofopbrengst (drogestofopbrengst x stikstofgehalte) te kijken in plaats van de droge stofopbrengst worden verschillen tussen behandelingen verder uitvergroot. Zie voor een nadere verklaring van de interactieverschillen de volgende subparagraaf Stikstofopbrengst.

Om te zien hoe de opbrengstverschillen gemiddeld over het groeiseizoen tot stand kwamen, staat de gemiddelde drogestofopbrengst van de achtereenvolgende sneden met en zonder stikstofbemesting en met en zonder onderwaterdrains per proeflocatie en drooglegging in Figuur 4.22.



Figuur 4.22 Gemiddelde drogestofopbrengst per snede met (N1) en zonder (N0) stikstofbemesting, met (D) en zonder (C) onderwaterdrains per locatie en drooglegging.

De figuren laten zoals verwacht voor stikstofbemesting beduidend hogere opbrengsten zien. De verschillen waren het grootst voor de eerste snede en werden kleiner naarmate het groeiseizoen vorderde.

4.5.2 Stikstofopbrengst

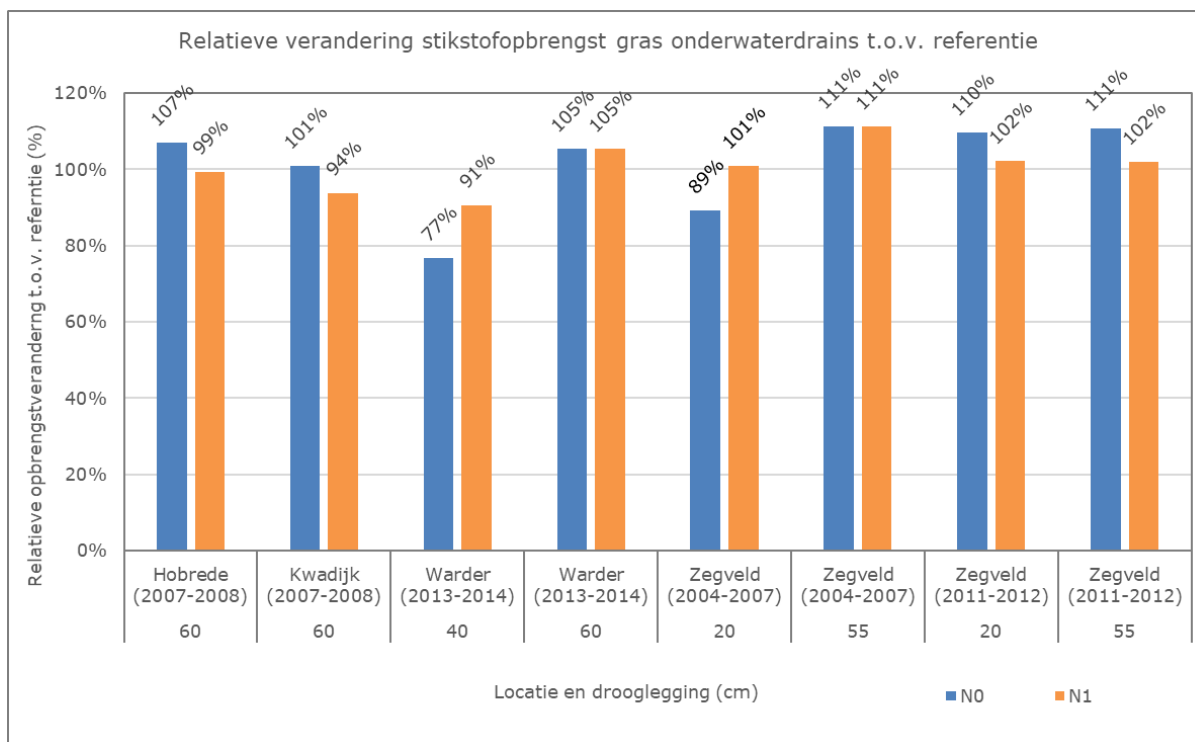
De gemiddelde stikstofopbrengsten op jaarbasis per experiment per drooglegging, met en zonder stikstofbemesting, met en zonder onderwaterdrains staan in Tabel 27. Daarbij zijn de verschillen voor de behandelingen wel en geen stikstofbemesting en wel en geen onderwaterdrains aangegeven. De stikstofgehalten zijn voor de locaties Hobrede, Kwadijk en Zegveld voor respectievelijk één, één en twee proefjaren geanalyseerd. De stikstofopbrengsten per snede en per jaar staan in Bijlage 7, Tabel 2.

Tabel 27 Gemiddelde stikstofopbrengst per experiment per drooglegging met (N1) en zonder (N0) stikstofbemesting, met (D) en zonder (C) onderwaterdrains en de verschillen tussen wel en geen stikstofbemesting (Verschil N0-N1) en wel en geen onderwaterdrains (Verschil D-C).

Locatie en periode	Drooglegging	C-N0	C-N1	D-N0	D-N1	Verschil N0-N1		Verschil D-C	
						C	D	N0	N1
Hobrede (2008)	60	231	341	247	339	110	92	16	-2
Kwadijk (2008)	60	296	397	299	372	101	74	3	-24
Warder (2013-2014)	40	227	319	174	289	91	115	-53	-30
	60	231	330	243	347	99	104	12	17
Zegveld 0 (2004-2005)	20	197	305	176	308	108	132	-21	3
	55	256	376	285	419	120	133	29	42
Zegveld 1 (2011-2012)	20	240	347	263	355	108	92	23	8
	55	260	371	288	379	112	91	28	7

Evenals voor de drogestofopbrengst verschilden de stikstofopbrengsten tussen wel en geen drains verschilden per locatie, per drooglegging en stikstofbehandeling, wat duidt op interacties tussen de behandelingen. Voor stikstofopbrengst is geen statistische analyse uitgevoerd.

De relatieve verandering in stikstofopbrengst voor onderwaterdrains ten opzichte van de referentie voor beide stikstofniveaus per locatie en drooglegging (cm) staan in Figuur 4.23.



Figuur 4.23 Relatieve verandering stikstofopbrengst onderwaterdrains ten opzichte van de referentiesituatie zonder onderwaterdrains (%) per locatie en drooglegging (cm) met onderscheid tussen stikstofniveaus (N0 en N1).

Voor een verklaring van de effecten op de drogestofopbrengst en in grotere mate de stikstofopbrengst zijn de volgende zes condities onderscheiden:

- Opbrengstverandering N0-behandeling voor onderwaterdrains ten opzichte van geen drains
 - 1 > 100% Extra N-mineralisatie door meer drainage
 - 2 = 100% Geen verandering
 - 3 <100% Minder N-mineralisatie door minder infiltratie

- Verschil in opbrengstverandering tussen beide N-niveaus (N0 en N1)
 - 4 N0 > N1 De toepassing van N was minder effectief vanwege een hoger mineralisatieniveau
 - 5 N0 = N1 Geen verandering
 - 6 N0 < N1 N-toepassing was effectiever door een lager mineralisatieniveau

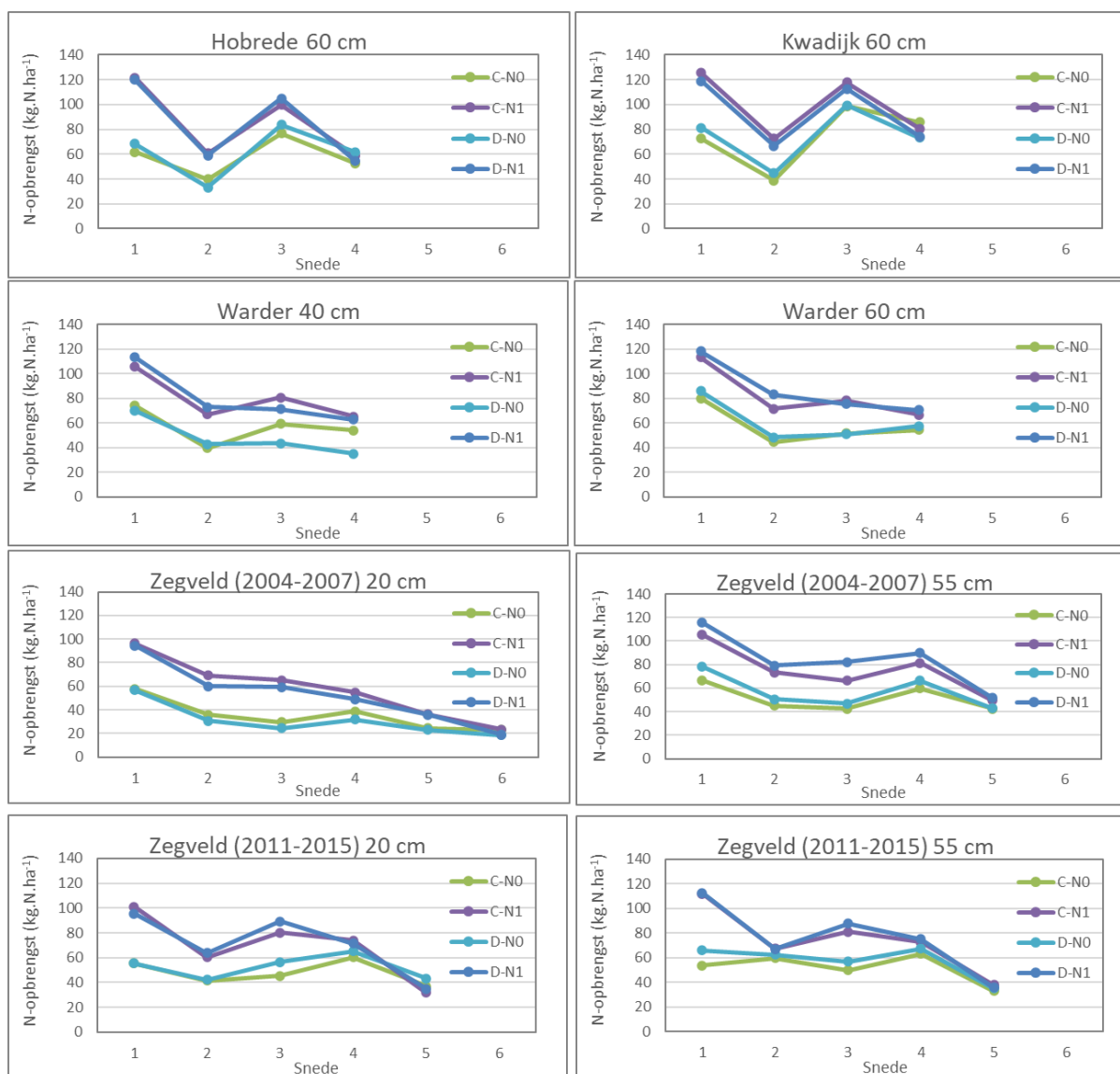
In Tabel 28 staan per locatie, drooglegging en proefperiode de condities volgens welke de verandering van stikstofopbrengst verklaard wordt.

Tabel 28 Verandering mineralisatie en/of effect N-bemesting als verklaring voor opbrengstverschillen door toepassing onderwaterdrains

Locatieperiode	Slootpeil	Lineaire parameter	Significant verschillend van 1	Effect mineralisatie	Effect N-bemesting
Hobrede (2007-2008)	'Laag'	0.95		Extra mineralisatie (1)	Kleiner effect (4)
Kwadijk (2007-2008)	'Laag'	0.93		Extra mineralisatie (1)	Kleiner effect (4)
Warder (2013-2014)	'Midden'	0.78	*	Minder mineralisatie (3)	Groter effect (6)
Warder (2013-2014)	'Laag'	0.75	*	Extra mineralisatie (1)	Geen verandering (5)
Zegveld 0 (2004-2007)	'Hoog'	0.81	*	Minder mineralisatie (3)	Groter effect (6)
Zegveld 0 (2004-2007)	'Laag'	0.75	*	Extra mineralisatie (1)	Geen verandering (5)
Zegveld 1 (2011-2012)	'Hoog'	1.00		Extra mineralisatie (1)	Kleiner effect (4)
Zegveld 1 (2011-2012)	'Laag'	0.97		Extra mineralisatie (1)	Kleiner effect (4)

Onderwaterdrains leidden bij een slootpeil 'laag' tot extra mineralisatie en dit ging in vier van de zes situaties samen met een kleiner effect van stikstofbemesting en in twee van de zes situaties samen met een onveranderd effect van stikstofbemesting. Bij een slootpeil 'midden' en 'hoog' leidden onderwaterdrains daarentegen tot minder mineralisatie en een groter effect van stikstofbemesting (uitgezonderd hoog slootpeil Zegveld 1).

Om te zien hoe de verschillen in stikstofopbrengst gemiddeld over het groeiseizoen tot stand kwamen, staan de gemiddelde stikstofopbrengst van de achtereenvolgende sneden met en zonder stikstofbemesting en met en zonder onderwaterdrains per proeflocatie en drooglegging in Figuur 4.24.



Figuur 4.24 Gemiddelde stikstofopbrengst per snede met (N1) en zonder (N0) stikstofbemesting, met (D) en zonder (C) onderwaterdrains per locatie en drooglegging.

De figuren laten het verwachte verschil tussen wel en geen stikstofbemesting zien. De verschillen waren het grootst voor de eerste snede en werden kleiner naarmate het groeiseizoen vorderde. De verschillen komen over het algemeen niet specifiek in een bepaalde snede tot stand, maar zijn redelijk evenredig over de sneden verdeeld. Alleen voor de locatie Warder was bij een drooglegging van 40 cm zonder stikstofbemesting de stikstofopbrengst bij onderwaterdrains in snede 3 en 4 aanmerkelijk lager.

4.5.3 Stikstofgehalte gras

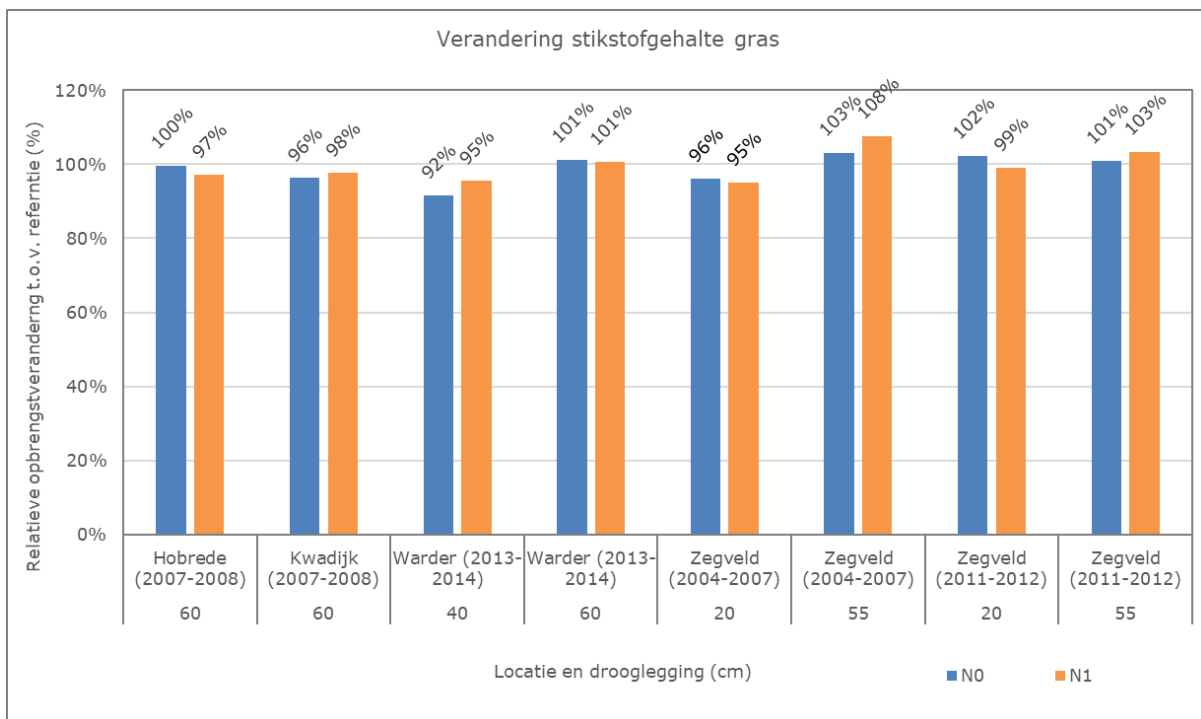
De gemiddelde stikstofgehalten van het gras op jaarbasis per experiment per drooglegging, met en zonder stikstofbemesting, met en zonder onderwaterdrains staan in Tabel 29. Daarbij zijn de verschillen voor de behandelingen wel en geen stikstofbemesting en wel en geen onderwaterdrains aangegeven. De stikstofgehalten per snede en per jaar staan in Bijlage 7, Tabel 3.

Tabel 29 Gemiddelde stikstofgehalten in g per kg droge stof per experiment per drooglegging met (N1) en zonder (N0) stikstofbemesting, met (D) en zonder (C) onderwaterdrains en de verschillen tussen wel en geen stikstofbemesting (Verschil N0-N1) en wel en geen onderwaterdrains (Verschil D-C).

Locatie en periode	Drooglegging	C-N0	C-N1	D-N0	D-N1	Verschil N0-N1		Verschil D-C	
						C	D	N0	N1
Hobrede (2008)	60	28,8	31,0	28,7	30,2	2,2	1,5	-0,1	-0,9
Kwadijk (2008)	60	28,6	30,4	27,5	29,7	1,9	2,2	-1,1	-0,7
Warder (2013-2014)	40	28,3	29,9	25,9	28,5	1,6	2,6	-2,4	-1,4
	60	27,3	29,6	27,7	29,7	2,2	2,1	0,3	0,2
Zegveld 0 (2004-2005)	20	26,0	27,2	25,0	25,8	1,2	0,9	-1,0	-1,3
	55	25,9	28,8	26,6	31,0	3,0	4,4	0,8	2,2
Zegveld 1 (2011-2012)	20	27,7	28,7	28,3	28,5	1,1	0,2	0,6	-0,3
	55	28,9	30,4	29,2	31,4	1,5	2,2	0,3	1,0

De stikstofgehalten waren met stikstofbemesting (N1) gemiddeld hoger dan zonder stikstofbemesting (N0). De stikstofgehalten verschilden vooral tussen wel en geen drains, locatie en drooglegging.

De relatieve verandering in stikstofgehaltenes voor onderwaterdrains ten opzichte van de referentie voor beide stikstofniveaus per locatie en drooglegging (cm) staan in Figuur 4.25.



Figuur 4.25 Relatieve verandering stikstofgehalte onderwaterdrains ten opzichte van de referentiesituatie zonder onderwaterdrains (%) per locatie en drooglegging (cm) met onderscheid tussen stikstofniveaus (N0 en N1).

Om inzicht te krijgen in het verschil in stikstofgehalten tussen wel en geen onderwaterdrains is een statistische analyse uitgevoerd. Hierbij bleek geen significant verschil tussen wel of geen stikstofbemesting, maar wel tussen wel of geen onderwaterdrains, de locaties en slootpeilen.

De statistische verschillen tussen de gemodelleerde stikstofgehalten tussen wel en geen onderwaterdrains en tussen de proeven (locatie en drooglegging) staat in Tabel 30.

Voor de verklaring van de verschillen is per locatie en drooglegging aangegeven of meer of minder mineralisatie optrad (Tabel 28).

Tabel 30 Statistische verschillen gemodelleerde stikstofgehalten tussen wel (D) en geen onderwaterdrains (C) en tussen proeven (locatie en drooglegging). Per locatie en drooglegging is aangegeven of meer of minder mineralisatie optrad (Tabel 29)

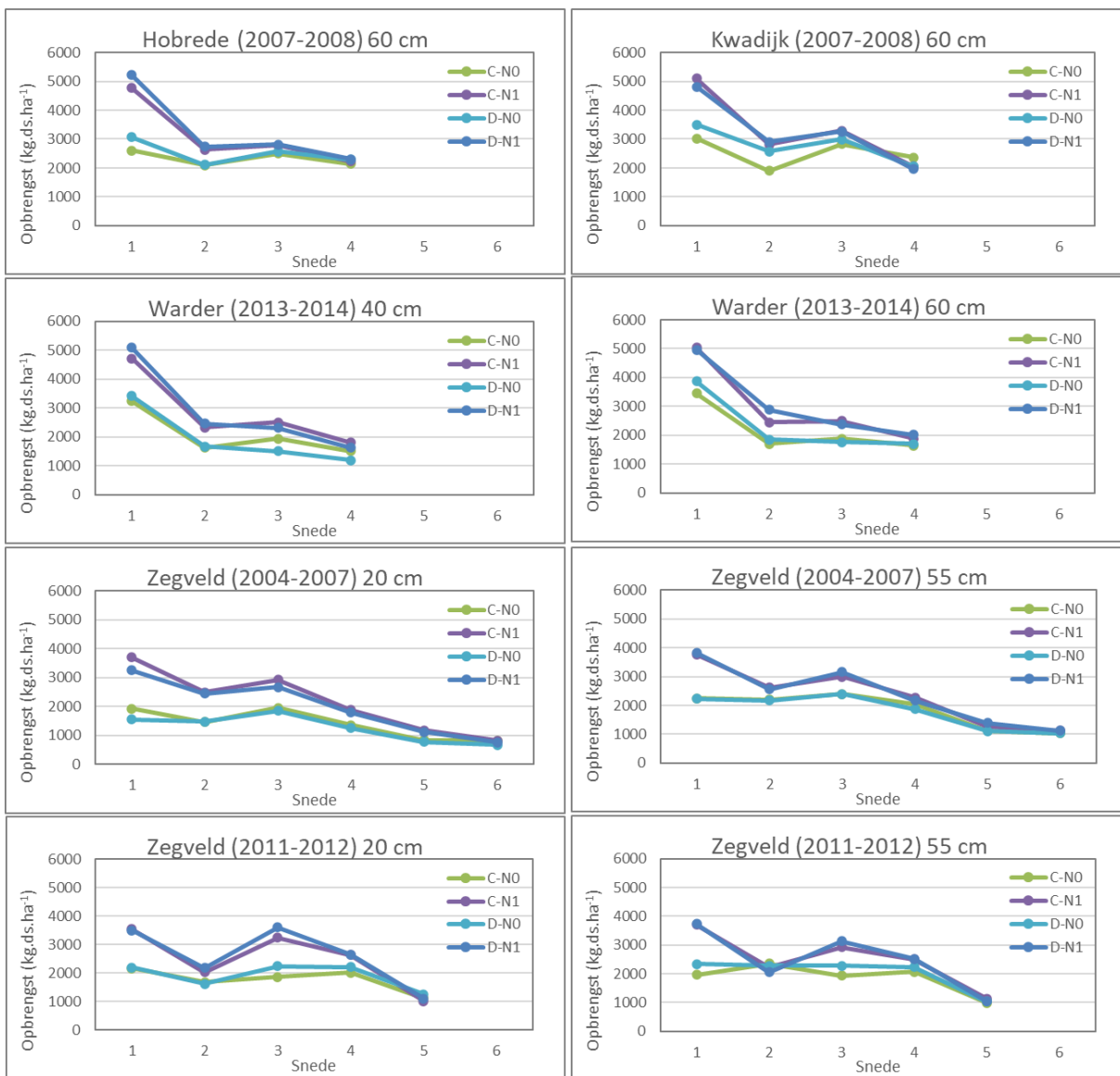
Locatie en periode	Drooglegging	C	D	Gemiddeld	Significant Verschil C-D	D versus C	Significant verschil proeven
Hobrede (2007-2008)	60	23,0	22,7	22,8	NIET SIGN	Lager ¹⁾	ab
Kwadijk (2007-2008)	60	24,6	23,7	24,1	SIGN	Lager ¹⁾	ab
Warder (2013-2014)	40	22,3	21,7	22,0	NIET SIGN	Lager ²⁾	a
	60	22,9	23,7	23,3	SIGN	Hoger ¹⁾	ab
Zegveld 0 (2004-2007)	20	26,3	25,1	25,7	SIGN	Lager ²⁾	ab
	55	25,6	26,9	26,2	SIGN	Hoger ¹⁾	ab
Zegveld 1 (2011-2015)	20	27,5	27,8	27,7	NIET SIGN	Hoger ¹⁾	b
	55	29,1	29,7	29,4	NIET SIGN	Hoger ¹⁾	b

¹⁾ Extra mineralisatie (stikstofopbrengst Onderwaterdrains > Referentie)

²⁾ Minder mineralisatie (stikstofopbrengst Onderwaterdrains < Referentie)

Voor de locaties Warder en Zegveld leek er een verband te zijn met het effect van onderwaterdrains op de mineralisatie. Voor de locaties Hobrede en Kwadijk waren de gehalten lager ondanks de extra beschikbaarheid van stikstof door mineralisatie.

De gemiddelde stikstofgehalten van de achtereenvolgende sneden met en zonder stikstofbemesting en met en zonder onderwaterdrains per proeflocatie en drooglegging staan in Figuur 4.26.



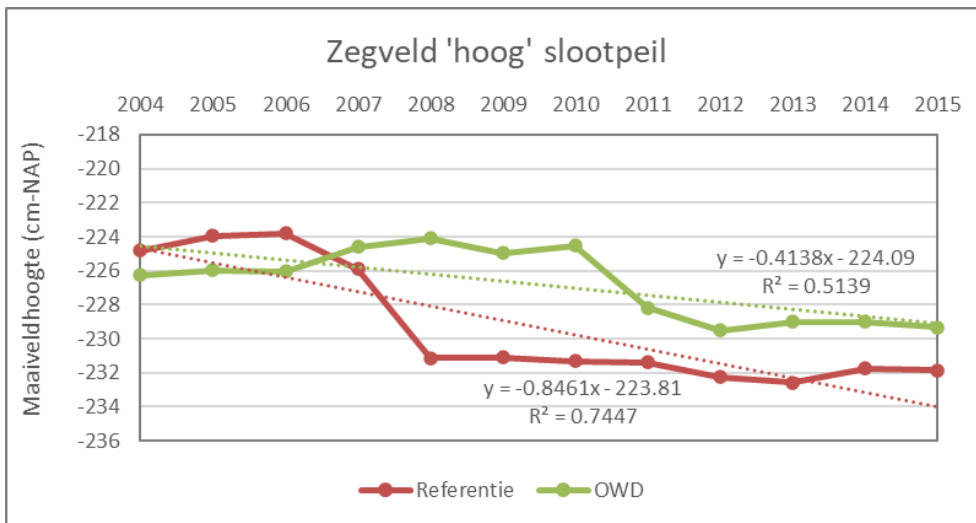
Figuur 4.26 Gemiddelde stikstofgehalte per snede met (N1) en zonder (N0) stikstofbemesting, met (D) en zonder (C) onderwaterdrains per locatie en drooglegging.

Het verloop van de stikstofgehalten was tegengesteld aan de stikstof en drogestofopbrengst. Zoals ook uit Tabel 30 en 31 en Figuur 2.24 bleek zijn de verschillen tussen wel en geen stikstofbemesting relatief klein en bestond er vooral verschil tussen wel en geen drains en de locaties.

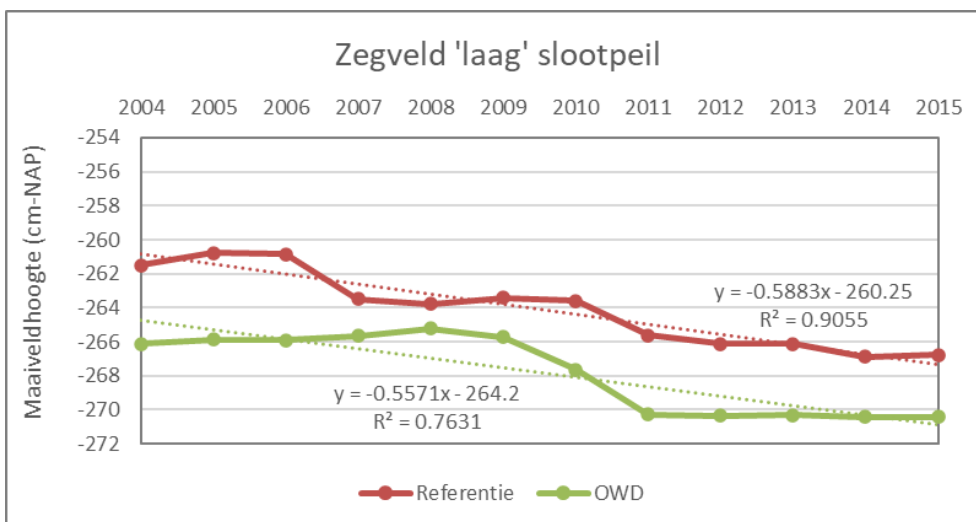
5 Discussie

5.1 Maaiveldhoogte

De maaiveldhoogtes zijn ingemeten door de hoogte van de bovenkant van de tegels boven de peilbuizen te meten. De meetresultaten zijn vooral gebruikt om per proefperceel de gemiddelde maaiveldhoogte vast te stellen en hier het verloop van de grondwaterstanden per behandeling aan te kunnen relateren. Er is zoveel mogelijk uitgegaan van metingen in het vroege voorjaar, zodat tussen de jaren een vergelijkbaar uitgangspunt werd verkregen. Veelal waren de proefperioden te kort om de mate van maaivelddaling te kunnen vaststellen. Alleen het onderzoek op Zegveld heeft uiteindelijk voor perceel 11 en 13 met een 'hoog' slootpeil en perceel 2 en 3 met een 'laag' slootpeil een lange meetreeks van 11 jaar opgeleverd. Voor de betreffende percelen bij het hoge en lage slootpeil staat respectievelijk in Figuur 5.1 en 5.2 een tijdreeks van de gemiddelde maaiveldhoogtes voor de referentie en onderwaterdrains.



Figuur 5.1 Tijdreeks maaiveldhoogtes voor de referentie en onderwaterdrains bij slootpeil 'Hoog'.



Figuur 5.2 Tijdreeks maaiveldhoogtes voor de referentie en onderwaterdrains bij slootpeil 'Laag'. De maaivelddaling uitgezet tegen de tijd heeft, uitgezonderd die voor de referentie bij een laag slootpeil, een relatief lage verklaarde variantie (R^2).

Dit geeft aan dat voor een betrouwbare meting van maaiveldaling de meetreeks minimaal 10 jaar moet zijn. Onderwaterdrains verminderden bij het hoge slootpeil de maaiveldaling met ongeveer een factor 2, uitgaande van het verschil in richtingscoëfficiënten tussen de relatie voor de referentie en de relatie voor onderwaterdrains. Bij het lage slootpeil was de daling tussen de referentie en onderwaterdrains vergelijkbaar. Opvallend is dat de daling voor de referentie van het hoge slootpeil (8,5 mm per jaar) aanmerkelijk hoger was dan voor het lage slootpeil (5,9 mm per jaar). Dit terwijl de GLG voor de referentie bij het hoge slootpeil (Zegveld 0 en 1 respectievelijk 43 en 41 cm) aanzienlijk hoger was dan de GLG voor de referentie bij het lage slootpeil (Zegveld 0 en 1 respectievelijk 61 en 60 cm). Op basis van een hogere GLG zou een geringere maaiveldaling verwacht worden. Hierdoor waren voor het hoge slootpeil de richtingscoëfficiënten uit de relaties voor de gemeten maaiveldalingen (respectievelijk 8,5 en 4,1 voor de referentie en onderwaterdrains) aanmerkelijk hoger dan de berekende maaiveldalingen op basis van de relaties van Van den Akker et al. (2007, 2008) uit Tabel 23 (paragraaf 4.4). Voor de referentie waren de berekende waarden voor Zegveld 0 en 1 respectievelijk 3,4 en 4,7 mm en voor onderwaterdrains waren deze voor Zegveld 0 en 1 respectievelijk 1,6 en 3,1 mm. Voor de betreffende proefpercelen werd met de relaties van Van den Akker et al. (2007, 2008) de maaiveldaling zodoende met 2,5 á 5,1 mm per jaar onderschat.

Voor het lage slootpeil waren de richtingscoëfficiënten uit de relaties voor de gemeten maaiveldalingen (respectievelijk 5,9 en 5,6 voor de referentie en onderwaterdrains) daarentegen lager dan de berekende maaiveldalingen op basis van de relaties van Van den Akker et al. (2007, 2008) uit Tabel 23 (paragraaf 4.4). Voor de referentie waren de berekende waarden voor Zegveld 0 en 1 respectievelijk 7,7 en 7,4 mm en voor onderwaterdrains waren deze voor Zegveld 0 en 1 respectievelijk 7,7 en 8,4 mm. Voor de betreffende proefpercelen werd met de relaties van Van den Akker et al. (2007, 2008) de maaiveldaling zodoende met 1,5 á 2,8 mm per jaar overschat. De mate van maaiveldaling heeft geen invloed gehad op de analyse van de grondwaterstanden.

5.2 Drooglegging

De drooglegging had geen invloed op het effect van onderwaterdrains of drukdrains op het grondwaterstandsverloop, maar wel op de hoogte van het grondwaterstandsverloop. Onderwaterdrains gaven bij een 'hoog' slootpeil zowel een verhoging van de GHG als de GLG, terwijl bij een 'laag' slootpeil onderwaterdrains zowel een verlaging van de GHG als de GLG gaf. Daar waar onderwaterdrains goed werkten werden de grondwaterstanden genivelleerd en was bij een 'hoog' slootpeil de verhoging van de GLG relatief groter dan de GHG en was bij een 'laag' slootpeil de verlaging van de GLG in verhouding groter dan de GHG. Op de locatie Warder met slootpeil 'midden' werd de GHG verlaagd en de GLG verhoogd. Het toepassen van onderwaterdrains bij een dynamische slootpeilbeheer gaven een vergelijkbaar beeld met een hoog slootpeil en goed werkende drains. De verlaging van de GHG was relatief gering ten opzichte van de verhoging van de GLG. Voor drukdrains was de hoogte van het grondwaterstandsverloop niet direct aan de drooglegging te relateren, omdat met drukdrains de grondwaterstanden onafhankelijk van het slootpeil te beïnvloeden waren. Daarbij waren de locaties en percelen per locatie voor drukdrains minder goed onderling te vergelijken, aangezien in de winterperiode verschillend omgegaan werd met het afvoeren van water.

De drooglegging had op locatie Zegveld bij het toepassen van drukdrains (2016-2021) veel invloed op de hoeveelheid water die de waterreservoirs werd ingepompt tijdens waterinfiltratie (Hoving et al., 2021). Bij het lage slootpeil werd tijdens een neerslagtekort per dag 2,8 keer zo veel water ingepompt als bij het hoge slootpeil. Dit is enerzijds te verklaren door extra infiltratie vanuit de sloot bij een hoog peil en anderzijds door extra drainage vanuit de bodem naar de sloot bij een laag slootpeil.

In feite werd geïnfiltreerd water rondgepompt vanuit de sloot in het waterreservoir, via de onderwaterdrains en de bodem terug naar de sloot. Bij het toepassen van actieve waterinfiltratie via drukdrains verdient het zodoende aanbeveling om het slootpeil ongeveer gelijk te laten zijn aan de streefgrondwaterstand.

5.3 Grondwaterstanden

5.3.1 Metingen

In het onderzoek is er voor gekozen om binnen percelen op een groot aantal plaatsen de grondwaterstanden handmatig te meten met een frequentie in de tijd variërend van incidenteel enkele dagen (behandelingen dynamisch peilbeheer) tot maximaal twee weken. Hierdoor werd vooral rekening gehouden met variatie in de ruimte en veel minder met variatie in de tijd. Met elektronische drukopnemers kan de grondwaterstand continu gemeten worden, waardoor meer inzicht verkregen wordt in de snelheid waarop grondwaterstanden binnen peilstrategieën reageren. Elektronische drukopnemers waren echter te duur om op grote schaal in te zetten. Aangezien bekend is dat percelen of delen van percelen hydrologisch verschillend kunnen reageren ging de voorkeur uit naar het meenemen van de ruimtelijke variatie.

De grondwaterstanden lieten een cyclisch verloop zien, met in de winter relatief hoge en in de zomer relatief lage grondwaterstanden. Door het toepassen van onderwaterdrains en vooral drukdrains werd het grondwaterverloop vlakker, oftewel de amplitude van het cyclische grondwaterstandsverloop werd kleiner. De amplitude is het verschil tussen de gemiddelde grondwaterstand en de gemiddeld hoogste grondwaterstand in de winter of gemiddeld laagste grondwaterstand in de zomer voor de betreffende behandeling. Een nauwere drainafstand gaf een kleinere amplitude van het grondwaterstandsverloop. Ook dynamisch peilbeheer leidde tot een kleinere amplitude. Een hoog slootpeil leidde vooral tot hogere grondwaterstanden in de zomer en een laag slootpeil tot lagere grondwaterstanden in de winter. De mate waarin onderwaterdrains of drukdrains tot een kleinere amplitude van het grondwaterstandsverloop leidde was per locatie of perceel verschillend. Mogelijke oorzaken waren een verschil in (1) slootweerstand, (2) doorlatendheid van de bodem, (3) transpiratiereductie door vernatting of droogte, (4) verschil in kwel of wegzijging, (5) drainafstand en (6) verschil in werking van drains.

De doorlatendheid van de bodem kan worden gekwantificeerd met de zogenaamde k-waarde voor de horizontale waterdoorlatendheid van de bodem. De k-waarde voor veengrond is zeer variabel en meetwaarden geven slechts een indicatie voor de te verwachten weerstanden. In de praktijk kan de mate van infiltratie aanzienlijk afwijken.

Voor het verschil in werking van drains zijn de meest waarschijnlijke verklaring:

- Een te ruime drainafstand, waardoor de bodemweerstand onvoldoende overbrugd wordt;
- Omhullingsmateriaal dat verstopt is gaan zitten;
- Vervuiling van drains met bagger of ander organisch materiaal;
- Luchtinsluiting;
- Drukverlies door slootpeilverlaging bij onderwaterdrains of een daling van het peil in de toevoerregeling bij drukdrains.

Voor alle proefpercelen staan in Tabel 31 de lineaire parameters en de intercepten uit de statistische modelanalyse (met in rood welke significant verschillend waren) en de meest waarschijnlijke beperkende factoren.

Tabel 31 Lineaire parameters en intercepten uit de statistische modelanalyse (met in rood welke significant verschillend waren) en de meest waarschijnlijke beperkende factoren voor de werking van onderwaterdrains of drukdrains per locatie per perceel.

Locatie	Periode	Perceel	slootpeil	Drainafstand	Lineaire parameter	Intercept	Meest waarschijnlijke beperkende factor
<i>Onderwaterdrains bij vaste slootpeilen</i>							
Hobrede	2007-2010	9	'laag'	6 m	0,95	-1,9	Te ruime drainafstand
Kwadijk	2007-2010	3	'laag'	6 m	0,93	-5,0	Te ruime drainafstand
Warder	2012-2014	12-13	'midden'	4 m	0,78	-3,6	Geen beperking
		21-22	'laag'	4 m	0,75	-4,3	Geen beperking
Zegveld 0	2004-2007	11-13	'hoog'	4-8-12 m	0,81	6,5	Geen beperking
		2-3	'laag'	4-8-12 m	0,75	-6,0	Geen beperking
Zegveld 1	2011-2015	11-13	'hoog'	4-8 m	1,00	6,7	Vervuiling en/of verstopping
		2-3	'laag'	4-8 m	0,97	-4,2	Vervuiling en/of verstopping
Zegveld	2016-2021	13	'hoog'	6 m	0,88	-1,9	Onbekend ¹⁾
		14	'hoog'	6 m	0,76	-5,0	Geen beperking
		15	'laag'	6 m	0,92	-3,6	Invloed hoogwatersloot
		16	'laag'	6 m	0,80	-4,3	Geen beperking
<i>Onderwaterdrains bij dynamisch slootpeilbeheer</i>							
Zegveld	2011-2016	7b	Winter hoog	4 m	0,70	3,8	Geen beperking
		8b	Winter hoog	4 m	0,79	0,2	Geen beperking
	2011-2013	Vo2	Winter laag	4 m	0,62	2,0	Geen beperking
		Zw1	Winter laag	4 m	0,76	0,7	Geen beperking
	2011-2016	7b	Winter hoog	8 m	0,77	3,0	Geen beperking
		8b	Winter hoog	8 m	0,85	-0,6	Geen beperking
	2011-2013	Vo2	Winter laag	8 m	0,69	1,1	Geen beperking
		Zw1	Winter laag	8 m	0,83	-0,1	Kwel
<i>Drukdrains</i>							
Assendelft	2018-2021	1	'laag'	4 m	0,33	15,1	Geen beperking
		2	'laag'	4 m	0,62	11,8	Vervuiling en/of verstopping
		4 ²⁾	'laag'	4 m	0,66	-6,0	Late start en drukverlies
		6 ²⁾	'midden'	4 m	0,66	5,2	Late start en drukverlies
Nauerna	2018-2021	7 ³⁾	'midden'	4 m	0,78	11,4	Late start en drukverlies
Zegveld	2016-2021	13	'hoog'	6 m	0,58	-1,8	Verschil maaiveldhoogte (13-14)
		14	'hoog'	6 m	0,62	0,4	Verschil maaiveldhoogte (13-14)
		15	'laag'	6 m	0,56	1,3	Verschil maaiveldhoogte (15-16)
		16	'laag'	6 m	0,57	3,9	Verschil maaiveldhoogte (15-16)

¹⁾ Uit een draininspectie bleek dat de onderwaterdrains op perceel 13 goed functioneerden. Mogelijk was op het betreffende deel van het perceel de bodemweerstand relatief hoog, al blijkt dit niet uit de k-waarden (Bijlage 1).

²⁾ Pas vanaf augustus 2019 kon actief geïnfilterd worden.

³⁾ Pas vanaf juli 2018 kon actief geïnfilterd worden. Geen consequente aansturing.

In de proeven op locatie Zegveld (2004-2007 en 2011-2015) met onderwaterdrains en vaste slootpeilen was het effect op de amplitude van het grondwaterstandsverloop bij een hoog slootpeil kleiner dan bij een laag slootpeil, echter de gemiddelde grondwaterstand lag wel aanzienlijk hoger (zie intercepten) dan de referentie bij een hoog slootpeil. Een gemiddeld hogere grondwaterstand draagt bij aan het verminderen van veenafbraak. Ook de met water verzadigde zone ligt hoger waardoor de zuurstofindringing geremd wordt.

Uit de statistische analyse is het percentage verhoging en verlaging van de grondwaterstand in respectievelijk de zomer en winter ten opzichte van de referentie afgeleid. Het resultaat staat in Tabel 32. Voor onderwaterdrains was het percentage verlaging in de winter en het percentage verhoging in de zomer gelijk. Voor drukdrains waren de percentages verlaging in de winter en verhoging in de zomer verschillend en deze zijn berekend voor grondwaterstanden van de referentie die respectievelijk 25 cm lager en 25 cm hoger waren dan het gemiddelde (normatieve) grondwaterniveau van de referentie.

Tabel 32 Percentage verhoging en verlaging van de grondwaterstand in respectievelijk de zomer en winter (percentages in rood waren significant verschillend). Voor drukdrains zijn de percentages weergegeven ten opzichte van de referentie bij een grondwaterniveau van respectievelijk -25 cm en +25 cm ten opzichte van het gemiddelde (normatieve) grondwaterniveau van de referentie.

Locatie	Perceel	slootpeil	Drainafstand	Hogere grondwaterstand zomer (%)	Lagere grondwaterstand winter (%)
<i>Onderwaterdrains met vaste slootpeilen</i>					
Hobrede	9	'laag'	6 m	5	5
Kwadijk	3	'laag'	6 m	7	7
Warder	12-13	'midden'	4 m	22	22
	21-22	'laag'	4 m	25	25
Zegveld 0	11-13	'hoog'	4-8-12 m	19	19
	2-3	'laag'	4-8-12 m	25	25
Zegveld 1	11-13	'hoog'	4-8 m	0	0
	2-3	'laag'	4-8 m	3	3
Zegveld	13	'hoog'	6 m	12	12
	14	'hoog'	6 m	24	24
	15	'laag'	6 m	8	8
	16	'laag'	6 m	20	20
<i>Onderwaterdrains met dynamische slootpeilen</i>					
Zegveld	7b	Winter hoog	4 m	30	30
	8b	Winter hoog	4 m	21	21
	Vo2	Winter laag	4 m	38	38
	Zw1	Winter laag	4 m	24	24
	7b	Winter hoog	8 m	23	23
	8b	Winter hoog	8 m	15	15
	Vo2	Winter laag	8 m	31	31
	Zw1	Winter laag	8 m	17	17
<i>Drukdrains</i>					
Assendelft	1	'laag'	4 m	83	52
	2	'laag'	4 m	53	23
	4 ¹⁾	'laag'	4 m	49	19
	6 ¹⁾	'midden'	4 m	49	19
Nauerna	7 ²⁾	'midden'	4 m	37	6
Zegveld	13	'hoog'	6 m	57	26
	14	'hoog'	6 m	53	23
	15	'laag'	6 m	59	28
	16	'laag'	6 m	58	28

¹⁾ Pas vanaf augustus 2019 kon actief geïnfiltreerd worden

²⁾ Pas vanaf juli 2018 kon actief geïnfiltreerd worden. Geen consequente aansturing.

Voor onderwaterdrains met een significante werking werd de amplitude van het grondwaterstandsverloop met 14-25% verlaagd (gemiddeld 23%). In combinatie met een dynamisch slootpeilbeheer werd de werking van onderwaterdrains versterkt en werd de amplitude van het grondwaterverloop met 15-38% verlaagd (gemiddeld 25%). Drukdrains gaven ten opzichte van onderwaterdrains extra infiltratie in de zomer. Voor

drukdrains was de grondwaterstand in de zomer 37-83% hoger (gemiddeld 55%) en was de grondwaterstand in de winter 6-52% lager (gemiddeld 25%).

5.3.2 GHG en GLG

De GLG en GHG zijn berekend door eerst per jaar de LG3 en de HG3 te berekenen en deze waarden vervolgens te middelen over de reeks van vier jaren. Het protocol schrijft echter voor, dat de GLG en GHG over tenminste een reeks van tenminste acht weerjaren berekend moet worden. Met de kortere proefperiodes (uitgezonderd Zegveld 2008-2015, perceel 11 en 13) kon hier niet aan voldaan worden. Bovendien werden de metingen veelal niet op de voorgeschreven 14^e en 28^e van de maand gedaan en zijn de data gebruikt die hier maximaal 3 dagen vanaf weken. De resultaten zijn zodoende indicatief. De wateraanvoersystemen bij drukdrains functioneerden in de (drogere) beginjaren niet optimaal, waardoor bij verschillende percelen de LG3 dieper was dan bij een goed functionerend systeem het geval zou zijn. Op de locatie Assendelft hadden drukdrains op perceel 3-4 en 5 een verlagend effect op de GHG, omdat de betreffende waterreservoirs in de winter open stonden, waardoor extra water via de drains werd afgevoerd. Op perceel 1-2, 6 en perceel 7 (locatie Nauerna) stonden de waterreservoirs dicht en was dit niet het geval.

5.3.3 Statistische analyse

Per ontwikkelstap is een statistische analyse over de experimenten heen uitgevoerd. Daarbij zijn onderwaterdrains vergeleken met een referentiesituatie zonder drains. De analyse is zodanig uitgevoerd dat de resultaten te veralgemeniseren zijn en waarvan het resultaat gebruikt kan worden om voor vergelijkbare veenlocaties de effecten op de grondwaterstand te voorspellen.

De analyse bleek gevoelig voor de invloed van de opstartperiode. Op de percelen 3-6 van locatie Assendelft en perceel 7 van locatie Nauerna leidde aanloopproblemen met het functioneren van drukdrains tot een relatief geringer effect. Aangezien de betreffende percelen deel uitmaakten van een praktijkproef en om geen ongebalanceerde dataset te krijgen, zijn deze data wel meegenomen in de analyse. Ook waren de weerjaren van invloed, aangezien vooral in relatief droge jaren verschil in mate van infiltratie tot uitdrukking komt. Het is zodoende een vereiste om metingen van een voldoende lange proefperiode met verschillende typen weerjaren te beschouwen.

De grondwaterstanden in het onderzoek op locatie Zegveld over de periode 2016-2020 (Hoving et al., 2021) zijn op dezelfde manier geanalyseerd als die over de periode 2018-2021, welke in het voorliggende rapport staan beschreven. In Tabel 33 staan de analyseresultaten voor beide proefperiodes en laten zien hoe deze zich tot elkaar verhouden. Voor de proefperiode 2016-2020 zijn voor beide waterinfiltratiemethoden eveneens gemiddelde relaties geschat.

Tabel 33 Parameters uit de statistische analyse van onderwaterdrains en drukdrains op locatie Zegveld over de perioden 2016-2020 en 2018-2021. De gemiddelden voor periode 2016-2020 zijn modelmatig geschat.

Locatie en periode	Waterinfiltratie	Perceel	Lineaire parameter	Kwadratisc term	Intercept genormaliseerd
Zegveld (2018-2021)	Onderwaterdrains	13	0,875	-	0,8
		14	0,758	-	4,3
		15	0,922	-	-2,7
		16	0,804	-	2,0
	Drukdrains	13	0,584	0,006075	-1,8
		14	0,618	0,006075	0,4
		15	0,563	0,006075	1,3
		16	0,568	0,006075	3,9
Zegveld (2016-2020)	Onderwaterdrains	13	0,844		0,8
		14	0,785		3,4
		15	0,949		-2,0
		16	0,739		3,4
		Gemiddeld	0,804		2,0
	Drukdrains	13	0,532	0,004894	0,28
		14	0,591	0,004894	2,1
		15	0,497	0,004894	2,6
		16	0,437	0,004894	5,7
		Gemiddeld	0,514	0,004886	2,5

Uit het vergelijk van de parameters uit beide analyses blijkt dat het verschil in weerjaren invloed had op het grondwaterstandsverloop en de analyseresultaten. Des te korter de meetperiode des te groter het effect hiervan zal zijn.

Voor de grasopbrengsten geeft de statistische analyse over de proeven heen een beeld van het effect van extra waterinfiltratie op de grasopbrengst en dat is belangrijke informatie voor het kunnen vaststellen van de kosten en baten van het toepassen van onderwaterdrains.

5.3.4 Grondwaterstandsbeheer

Het op cruciale momenten meebewegen van slootpeilen met de grondwaterstanden (daling bij een groot neerslagtekort, stijging bij een groot overschot) verzwakte het drainerende en infiltrerende effect van de onderwaterdrains sterk. Tegengestelde bewegingen van het slootpeil door het toepassen van dynamisch peilbeheer versterkte daarentegen de werking van de drains. Hierbij werd in het zomerhalfjaar bij lage grondwaterstanden het slootpeil verhoogd en in het winterhalfjaar bij hoge grondwaterstanden het slootpeil verlaagd.

Op locatie Zegveld werd voor drukdrains gebruik gemaakt van een waterreservoirs op perceel 14 en perceel 15 om het oppervlaktewaterpeil in te kunnen stellen. De percelen die het gevoeligst waren voor vernatting werden als uitgangspunt genomen voor de peilsturing. Voor hoog en laag slootpeil waren dat respectievelijk perceel 13 en 15. Dit betekende dat de sturing voor perceel 14 afhankelijk was van perceel 13 en de sturing van perceel 16 van perceel 15.

Aangezien de percelen verschillend reageerden en de maaiveldhoogtes niet gelijk waren, kon niet op beide percelen per waterreservoir de streefgrondwaterstand van 40 cm beneden maaiveld gerealiseerd worden.

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

Het sturen van het peil van de drukdrains vroeg de nodige leerervaring, om enerzijds er voor te zorgen dat geen natte plekken in het grasland zouden ontstaan en dat anderzijds wel de streefstand van 40 cm benaderd werd. De lagere grondwaterstanden dan de streefstand, zoals die op perceel 13 en 14 in de zomers van 2017 en 2018 voorkwamen, kwamen doordat het peil in het waterreservoir of niet tijdig genoeg en/of niet hoog genoeg werd opgezet. Hierbij moet opgemerkt worden dat neerslagverwachtingen, welke bepalend zijn voor het beslismechanisme (Tabel 5), niet altijd uitkwamen waardoor soms later het peil werd aangepast dan achteraf gewenst was.

De drukdrains functioneerde in Assendelft op perceel 1 en 2 relatief snel na de aanleg van de drains, waterresevoirs en het installeren van de pompen. Op perceel 3-6 was aanvankelijk het onvoldoende functioneren van de waterinfiltratie een beperking voor het onderzoek. Pas vanaf begin augustus 2019 kon daadwerkelijk actief geïnfiltreerd worden, maar het effect hiervan kwam pas in 2020 tot uiting doordat de bodem reeds was uitgedroogd. Een andere beperking was dat door een te grote vlotteruitslag de streefstand op deze percelen niet gehaald werd.

In het onderzoek dat op KTC Zegveld is uitgevoerd (Hoving et al., 2021) is het programma Reverse Drain ontwikkeld om inzicht te krijgen in de vochtthuishouding van de bodem en de grondwaterstand. Er bleek een sterke behoefte om de neerslagverwachting in de aansturing mee te kunnen nemen. In principe zouden met dit programma tevens de pompen voor drukdrains automatisch aangestuurd kunnen worden, maar dit was nog niet doorgevoerd omdat eerst ervaring moest worden opgedaan met de voorspelling van de bodemvochttoestand en de grondwaterstand. Reverse Drain voorzag in het kunnen instellen van de streefpeilen van het De Vos regelsysteem, echter dit bleek gecompliceerd. De koppeling van data en de afstemming kostte veel tijd en gaf technische problemen. Het gebruik van deze aansturingmogelijkheid gaf te weinig meerwaarde ten opzichte van de aansturing rechtstreeks met het De Vos regelsysteem. Conceptueel is dit niet de goede weg gebleken en het beeld is nu, dat niet Reverse Drain een regelsystemen moet kunnen aansturen, maar dat omgekeerd de intelligentie van het Reverse Drain aan een regelsysteem toegevoegd zou moeten worden. Verwacht wordt dat inzicht in de te verwachten bodemvochttoestand en grondwaterstand meerwaarde heeft om tijdig water in- of uit te pompen en belasting van het polderwatersysteem te verminderen. Dit kan veel energie en daarmee kosten besparen.

Waterreservoirs en drukdrains bleken gevoelig voor vervuiling. Op perceel 2 van locatie Assendelft trad in 2020 een verstopping op ter hoogte van één van de verzamelputten (verbindingspunt tussen een drainbuis en de collectordrain). Deze verstopping is opgeheven. In het onderzoek naar onderwaterdrains en drukdrains op locatie Zegveld (2016-2021) is een inventarisatie gedaan naar de vervuiling (Craats, 2019; Hoving et al., 2021). In de onderwaterdrains op de sloot was een niet al te dikke sliblaag aanwezig, dunner wordend verder in de buis, welke bestond uit een combinatie van zeer fijn en iets grover slib. De buizen waren geheel watervoerend. Op enkele plaatsen werden luchtbellen waargenomen, die een vertragende werking hebben op de infiltratie of drainage en de doorstroomcapaciteit van de drain. Verder was voor de meeste buizen een duidelijke verkleuring waarneembaar van de drainwand. Dit duidde op een afwisseling van infiltratie en drainage, zoals ook werd beoogd.

Opviel dat bij het lage slootpeil beduidend meer wortels door de drainwand kwamen dan bij het hoge slootpeil. Dit had mogelijk te maken met een kleinere verzadigde zone boven de drains bij het lage slootpeil (en dus meer wortelgroei op die diepte). Ook dit wees erop dat deze drains functioneerden; er werd gemiddeld een hoger grondwaterstand gevormd bij hoge slootpeilen. In een aantal drains werden vormen van aquatisch leven gevonden (visjes, slakken), maar niet in belemmerende mate. In de drukdrains was veelal een grote hoeveelheid lucht aanwezig; sommige drains stonden zelfs gedeeltelijk droog. Dit kan de stroming sterk belemmeren. Aangezien in de periode voorafgaand aan de meting veel neerslag gevallen was, werd water actief uitgepompt. Het is daarbij belangrijk dat het waterpeil in het waterreservoir niet onder het drainniveau uitkomt om luchtintreding te voorkomen. De hoeveelheid lucht in de drains suggereerde echter dat dit wel is gebeurd.

Nagenoeg iedere drain was eerder wel volstromend geweest, getuige de afzettingen op de wand. In een aantal drains werden grote luchtballen waargenomen, welke er zeer moeilijk uit te krijgen zijn. Verder was de dikte van de sliblaag opmerkelijk. In de percelen 13 en 14 was deze al fors te noemen en in percelen 15 en 16 leken deze stromingsbelemmerend te zijn. De putten in perceel 16 waren dusdanig vol, dat stroming van water door de verzamelrain ernstig werd gehinderd (zie Figuur 5.3).



Figuur 5.3 Links: hoge waterpeilen na verwijderen deksel van bezinkput op perceel 14 bij onderwaterdrains op de sloot. Rechts: put gevuld met slib en amper water op perceel 16 bij drukdrains.

Na het oplichten van de deksels van de bezinkputten duurde het één tot enkele uren voordat zich een plas water begon te vormen in de gegraven gaten, wat in andere putten binnen enkele seconden gebeurd was. Dit was reden tot zorg. De bron van het materiaal in de drains kon ofwel de sloot zijn, waar het via de pomp het waterreservoir werd ingepompt, ofwel een grote instroming van veenmateriaal van rondom de drains door het actief leegtrekken van de drains tijdens het draineren. Aangezien er stukjes stro en dergelijke aangetroffen werden in de drains, leek de eerste mogelijkheid in ieder geval te spelen. Dit betekende dat meer onderhoud nodig was om de pompen vrij te houden van vuil. Om vervuiling te voorkomen is het van belang om voorzieningen te treffen die de instroom van voornamelijk bagger voorkomen.

In het onderzoek te Assendelft en Nauerna werd bij het toepassen van drukdrains een wit-grijze afzetting in de waterreservoirs geconstateerd. Uit analyse van monsters bleek dat sulfidevorming door bacteriën betrof. Sulfide is zeer corrosief en tast de apparatuur in de reservoirs aan. Nog onbekend is of dit een tijdelijk effect was of dat dit zal blijven optreden. Ook is het de vraag of dit proces in de wortelzone van de graszode optreedt en reductie van groei kan veroorzaken.

In het drukdrainonderzoek op locatie Zegveld was tijdens een neerslagtekort bij het hoge slootpeil de ingepompte hoeveelheid water per dag gemiddeld 2,8 keer zo klein als bij het lage slootpeil (Hoving et al., 2021). Dit is enerzijds te verklaren door extra infiltratie vanuit de sloot bij een hoog peil en anderzijds door extra drainage vanuit de bodem naar de sloot bij een laag slootpeil. Daarbij was de doorlatendheid van perceel 16 (laag peil) relatief hoog, waardoor het watertransport gemakkelijker verliep. In feite werd geïnfiltreerd water rondgepompt vanuit de sloot in het waterreservoir, via de onderwaterdrains en de bodem terug naar de sloot. Bij drukdrains verdient het zodoende aanbeveling om het slootpeil ongeveer gelijk te laten zijn aan de streefgrondwaterstand.

5.4 Schatting maaiveld daling en broeikasgasemissie

De geschatte reductiepercentages voor maaiveld daling en broeikasgasemissies waren sterk afhankelijk van de hoogte van de GLG van de referentie. Rondom de schattingen is een onzekerheid doordat grondwaterstanden wekelijks gemeten zijn, de berekende GLG 's indicatief zijn en de relaties van Van den Akker et al. (2007, 2008) een bepaalde onbetrouwbaarheid hebben. Daarbij lagen sommige GLG 's buiten de range aan GLG 's, die ten grondslag liggen aan de gebruikte relaties. Voor de drainbehandelingen zijn alleen de peilbuizen midden tussen de drains in de analyse meegenomen en dat betekent dat in de zomer de gemiddelde grondwaterstand hoger ligt en, op basis van de peilbuizen, de werkelijke GLG overschat wordt.

In het kader van de studie voerde het te ver om de onzekerheid van de schattingen voor maaiveldaling en broeikasgasemissie te kwantificeren. De schattingen moeten zodoende beschouwd worden als een indicatie.

De werkelijke maaiveldaling kan meer reduceren dan op basis van het verschil in GLG is geschat. Metingen van Van den Akker et al. (2007, 2010, 2012 en 2017) op KTC Zegveld bij een slootpeil van 55 cm beneden maaiveld op perceel 3 en bij een slootpeil van 20 cm beneden maaiveld op perceel 13, bij onderwaterdrains met een drainafstand van 4 m lieten respectievelijk een halvering en een vermindering van tweederde van de maaiveldaling zien ten opzichte van de referentie zonder onderwaterdrains. Dit overtrof de verwachtingen, mogelijk omdat bij onderwaterdrains de bijna verzadigde zone boven het grondwater ook hoger komt te liggen en het effect van een hogere GLG versterkt wordt. Daarbij zijn de schattingen in het voorliggende rapport gebaseerd op grondwaterstanden gemeten in het midden tussen de drains, waardoor de gemiddelde grondwaterstand in droge perioden overschat wordt ten opzichte van de veldgemiddelde grondwaterstand. Bij slechts een gering hoger wordende GLG neemt de geschatte maaiveldaling en CO₂-reductie sterk af. Alleen met scherp sturen op de laagste grondwaterstand wordt in potentie de reductie aanzienlijk vergroot.

Sinds het najaar van 2019 wordt in Nederland gemeten aan de emissie van broeikasgassen uit het Nederlandse veenweidegebied in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV), ten behoeve van de doelstellingen in het Klimaatakkoord. Daarbij worden tevens de effecten op bodemdaling in beeld gebracht. Er wordt gebruik gemaakt van onderzoek op locaties verspreid over Nederland, waaronder de graslandlocaties Aldeboarn (Friesland), Rouveen (Overijssel), Assendelft (Noord-Holland), Vlist (Zuid-Holland) en Zegveld (Utrecht). In Assendelft wordt op de percelen 1 en 1R gemeten, en in Zegveld op perceel 16, waar ook een deel van het onderzoek plaatsvond dat in het voorliggende rapport staat beschreven. Op alle locaties worden o.a. broeikasgasfluxen gemeten, worden de biochemische en fysische eigenschappen van de bodem onderzocht en wordt gemeten aan bodemdaling. Doel is het vergroten van het mechanistisch begrip van veenafbraak en maatregelen om deze afbraak te verminderen om zo tot een betere inschatting te komen van zowel de huidige emissies als van het effect van maatregelen op deze emissies. Andere doelstellingen van NOBV zijn om een meetprotocol voor het meten van broeikasgassen en bodemdaling in het veenweidegebied te ontwikkelen, om een landelijk dekkend, structureel meetnetwerk op te zetten om de ontwikkelingen in emissies te monitoren en om met geactualiseerde rekenmodellen voorspellingen te doen over broeikasgasuitstoot en bodemdaling voor uiteindelijk het hele veenweidegebied. Het onderzoek is in 2021 uitgebreid, door toevoeging van nog een aantal onderzoekslocaties.

Onderdeel van het onderzoeksprogramma is het vaststellen van de hoogte van de emissie van CO₂, N₂O en CH₄, maar ook de variabiliteit in de betreffende fluxen. Resultaten van N₂O-metingen (2005-2009) op Melkveeproefbedrijf Zegveld lieten volgens Pleijter et al. (2011) zien dat het verhogen van de grondwaterstand waarschijnlijk leidde tot lagere cumulatieve N₂O-emissies, maar een stijging van de temporele en ruimtelijke variabiliteit. Voor kwantificering van de N₂O-emissies zou daarom gebruik moeten worden gemaakt van modelschattingen. Echter om de modellen te kunnen valideren en kalibreren zijn meer datasets nodig. De hoog-frequente metingen van het NOBV dragen hiertoe bij.

Anders dan bij eerdere metingen aan broeikasgasemissies van veenweiden, betreft dit continue metingen met meetkamers, omdat alleen zo voldoende zekerheid bestaat dat de meetnauwkeurigheid van de emissie door veenoxidatie voldoende is om verschillen tussen de behandeling en de referentie te kunnen meten. Het NOBV onderzoek vermeldt in een samenvatting van de onderzoeksresultaten 2021-2022 ([Samenvatting-Rapportage-jaar-3-NOBV.pdf \(nobveenweiden.nl\)](#)), dat op basis van alleen de kamermetingen sprake is van een lineaire relatie tussen de zowel jaar- als zomergemiddelde grondwaterstand en de netto ecosysteem koolstofbalans (NECB). Het (statistische) bewijs voor de relatie tussen de jaargemiddelde grondwaterstand en NECB is matig en er is statistisch weinig bewijs voor een relatie tussen zomergemiddelde grondwaterstand en NECB. Wanneer alle NECB's uit de kamermetingen worden meegenomen, wordt het meeste bewijs gevonden voor een reductie van 2,9 ton CO₂ per ha per jaar per 10 cm stijging van de jaargemiddelde grondwaterstand. Het is 95% zeker dat deze relatie zit tussen 0,4 en 5.3 ton CO₂ per ha per jaar CO₂.

Op basis van de metingen met EC-masten laat de gevonden relatie zien dat elke 10 cm grondwaterstandsverhoging de uitstoot met gemiddeld 2,2 ton CO₂ per ha per jaar vermindert, echter de bandbreedte rondom deze getallen is groot. Relaties voor N₂O en CH₄ worden in de samenvatting van de onderzoeksresultaten nog niet gegeven.

Op basis van deze resultaten is het effect van onderwaterdrains en drukdrains op CO₂ emissie gekwantificeerd en vergeleken met de gebruikte empirisch relaties volgens Van den Akker et al., 2007, 2008). Hierbij is per locatie per slootpeilregime uitgegaan van de GLG voor de relaties van Van den Akker en van de jaargemiddelde grondwaterstand (gemiddelde van alle gemeten grondwaterstanden) voor de NOBV-relatie (reductie van 2,9 ton CO₂ per ha per jaar per 10 cm stijging van de jaargemiddelde grondwaterstand).

Onderwaterdrains met vaste slootpeilen

Voor onderwaterdrains met vaste slootpeilen staan de resultaten staan in Tabel 34.

Tabel 34 De geschatte CO₂-emissie gemiddeld per locatie en slootpeilregime voor de proeven met onderwaterdrains en vaste slootpeilen ('laag', 'midden', 'hoog') op basis van (1) de GLG en de relaties van Van den Akker et al. (2007, 2008) en (2) de gemiddelde grondwaterstand en de NOBV-relatie ([Samenvatting-Rapportage-jaar-3-NOBV.pdf \(nobveenweiden.nl\)](#)) voor de behandelingen referentie en onderwaterdrains.

Behandeling	Hobrede 'laag'	Kwadijk 'laag'	Warder 'midden'	Warder 'laag'	Zegveld 0 'hoog'	Zegveld 0 'laag'	Zegveld 1 'hoog'	Zegveld 1 'laag'
<i>GLG (cm)</i>								
Referentie	69	58	51	60	43	61	48	60
OWD	71	65	46	58	35	61	41	64
Verschil	3	7	-4	-2	-8	0	-7	4
<i>CO₂-emissie (t CO₂ ha⁻¹.jaar⁻¹) volgens Van den Akker (2007, 2008)</i>								
Verschil	1,4	3,7	-2,3	-1,0	-4,7	-0,1	-4,4	2,6
<i>Gemiddelde grondwaterstand (cm)</i>								
Referentie	39,7	33,0	28,5	33,5	28,1	37,4	32,3	36,6
OWD	41,5	38,5	31,7	38,7	22,9	43,4	26,7	40,5
Verschil	1,8	5,5	3,3	5,2	-5,2	5,9	-5,6	3,9
<i>CO₂-emissie (t CO₂ ha⁻¹.jaar⁻¹) volgens NOBV (Samenvatting-Rapportage-jaar-3-NOBV.pdf (nobveenweiden.nl))</i>								
Verschil	0,5	1,6	0,9	1,5	-1,5	1,7	-1,6	1,1

De verschillen in geschatte CO₂-emissie volgens de Van den Akker relaties waren groter dan de verschillen volgens de NOBV-relatie. Alleen voor Zegveld 0 en 1 met slootpeil 'hoog' werd volgens beide benaderingen een lagere CO₂-emissie geschat. Voor Warder 'midden en 'laag' werden volgens Van den Akker lagere en volgens NOBV hogere emissies geschat en voor Zegveld 0 'laag' werd volgens Van den Akker een gelijke en volgens NOBV een hogere emissie geschat.

Onderwaterdrains met dynamisch slootpeil

Voor onderwaterdrains met een dynamisch slootpeilbeheer staan de geschatte veranderingen in maaiveldvaling en emissies voor de betreffende percelen in Zegveld in Tabel 35.

Tabel 35 De geschatte CO₂-emissie gemiddeld voor de proef met onderwaterdrains en dynamisch slootpeilbeheer (winter 'hoog en laag') locatie Zegveld op basis van (1) de GLG en de relatie van Van den Akker et al. (2007, 2008) en (2) de gemiddelde grondwaterstand en de NOBV-relatie ([Samenvatting-Rapportage-jaar-3-NOBV.pdf \(nobveenweiden.nl\)](#)) voor de behandelingen referentie en onderwaterdrains.

Behandeling	Dynamisch winter 'hoog'	Dynamisch winter 'laag'
<i>GLG (cm)</i>		
Referentie	60	41
OWD 4 m	51	36
OWD 8 m	54	39
Verschil OWD 4 m	-9	-5
Verschil OWD 8 m	-7	-2
<i>CO₂-emissie (t CO₂ ha⁻¹.jaar⁻¹) volgens Van den Akker (2007, 2008)</i>		
Verschil OWD 4 m	-5,4	-2,8
Verschil OWD 8 m	-4,0	-1,1
<i>Gemiddelde grondwaterstand (cm)</i>		
Referentie	36,8	36,2
OWD 4 m	33,3	36,3
OWD 8 m	33,8	36,8
Verschil OWD 4 m	-3,4	0,0
Verschil OWD 8 m	-2,9	+0,5
<i>CO₂-emissie (t CO₂ ha⁻¹.jaar⁻¹) volgens NOBV (Samenvatting-Rapportage-jaar-3-NOBV.pdf (nobveenweiden.nl))</i>		
Verschil OWD 4 m	-1,0	-0,0
Verschil OWD 8 m	-0,8	+0,2

De verschillen in geschatte CO₂-emissie tussen de referentie en onderwaterdrains met drainafstanden van 4 en 8 m waren volgens de Van den Akker relaties aanmerkelijk groter dan volgens de NOBV-relatie. De verschillen tussen beide benaderingen waren groter dan die voor de proeven met onderwaterdrains en vaste slootpeilen.

Drukdrains

Voor drukdrains staan de geschatte veranderingen in maaiveld daling en emissies voor de betreffende percelen in Zegveld, Assendelft en Nauerna in Tabel 36.

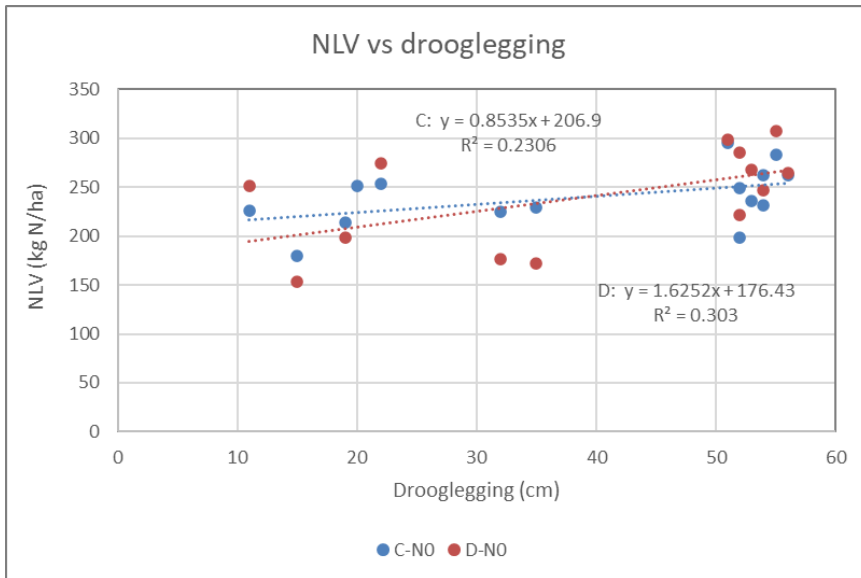
Tabel 36 De geschatte CO₂-emissie gemiddeld per locatie en slootpeilregime voor de proeven met drukdrains en onderwaterdrains en vaste slootpeilen ('laag', 'midden', 'hoog') op basis van (1) de GLG en de relaties van Van den Akker et al. (2007, 2008) en (2) de gemiddelde grondwaterstand en de NOBV-relatie ([Samenvatting-Rapportage-jaar-3-NOBV.pdf \(nobveenweiden.nl\)](#)) voor de behandelingen referentie en onderwaterdrains. Voor ZV is de GLG berekend over de onderzoeksperiode 2016-2021 en voor AD en NA over 2018-2021.

Behandeling	ZV 'hoog'	ZV 'laag'	AD 1-2 'laag'	AD 3-4 'laag'	AD 5 'laag'	AD 6 'midden'	NA 7 'hoog'
<i>GLG (cm)</i>							
Referentie	53	64	65	53	51	53	53
OWD-pomp	43	47	37	53	53	42	34
OWD-sloot	47	61					
Vershil OWD-pomp	-10	-17	-28	0	2	-11	-19
Vershil OWD-sloot	-6	-4					
<i>CO₂-emissie (t CO₂ ha⁻¹.jaar⁻¹) volgens Van den Akker (2007, 2008)</i>							
Vershil OWD-pomp	-5,9	-10,8	-10,8	0,2	0,8	-4,3	-4,4
Vershil OWD-sloot	-3,8	-2,2					
<i>Gemiddelde grondwaterstand (cm)</i>							
Referentie	35,0	43,4	39,6	33,3	34,4	34,4	33,9
OWD-pomp	33,4	37,0	24,8	40,0	36,1	28,1	20,3
OWD-sloot	33,1	44,6					
Vershil OWD-pomp	-1,6	-6,4	-14,8	6,7	1,7	-6,3	-13,5
Vershil OWD-sloot	-1,9	1,1					
<i>CO₂-emissie (t CO₂ ha⁻¹.jaar⁻¹) volgens NOBV (Samenvatting-Rapportage-jaar-3-NOBV.pdf (nobveenweiden.nl))</i>							
Vershil OWD-pomp	-0,5	-1,9	-4,3	2,0	0,5	-1,8	-3,9
Vershil OWD-sloot	-0,5	0,3					

Evenals voor de proeven met onderwaterdrains bij vaste slootpeilen en dynamisch slootpeilbeheer, waren de verschillen in geschatte CO₂-emissie tussen de referentie, drukdrains en onderwaterdrains volgens de Van den Akker relaties aanmerkelijk groter dan volgens de NOBV-relatie. Vooral het verschil voor Zegveld 'hoog' en 'laag' was groot, doordat de gemiddelde grondwaterstand door waterinfiltratie in verhouding veel minder veranderde dan de GLG.

5.5 Grasopbrengsten

De stikstofopbrengst zonder stikstofbemesting (N0-behandeling) vertegenwoordigt de N-levering door de bodem en deze is afhankelijk van de mineralisatie. De mineralisatie wordt beïnvloed door de bodemvochttoestand. De drooglegging en het wel of niet toepassen van onderwaterdrains zijn hier belangrijke factoren in. Om te zien of deze factoren effect hebben op de NLV-levering, is in Figuur 5.4 de drooglegging uitgezet tegen de stikstoflevering van de bodem (N0-opbrengst) voor wel en geen onderwaterdrains. Dit leverde voor wel en geen onderwaterdrains verschillende lineaire relaties op.



Figuur 5.4 Drooglegging versus stikstoflevering van de bodem (NLV) voor wel (D) en geen (C) onderwaterdrains

Hoewel de relaties een relatief lage R^2 hebben, bevestigen ze dat door vernatting de mineralisatie van de bodem afneemt en er minder stikstof vrij komt. Voor onderwaterdrains is dit effect groter dan zonder onderwaterdrains. De lijnen voor wel en geen onderwaterdrains snijden elkaar bij een drooglegging van 40 cm; bij een drooglegging < 40 cm geven onderwaterdrains lagere NLV en bij een drooglegging > 40 cm geven onderwaterdrains een hogere NLV. Waarschijnlijk hebben de relaties een relatief lage betrouwbaarheid, omdat ze gebaseerd zijn op resultaten van verschillende veenbodems met en zonder kleidek.

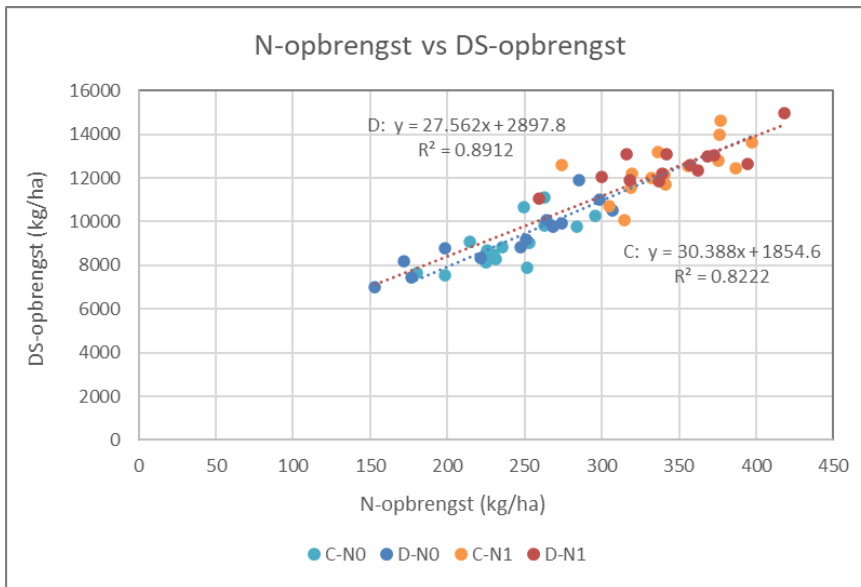
Ter illustratie van het effect van een vermindering van de drooglegging op NLV met en zonder onderwaterdrains is in Tabel 37 een rekenvoorbeeld gegeven op basis van de relaties uit Figuur 5.4.

Tabel 37 Rekenvoorbeeld effect vermindering drooglegging op de stikstoflevering van de bodem (NLV) met (D) en zonder (C) onderwaterdrains

Behandeling	Drooglegging (cm)	NLV (kg N.ha-1)	DS-opbrengst (kg ds.ha-1)
Referentie (C)	60	258	9698
Peilverhoging (C)	30	233	8920
Peilverhoging (D)	30	225	8698
Vershil (C)	30	-26	-778
Vershil (D)	30	-33	-1000
Per cm vermindering drooglegging C			-25,9
Per cm vermindering drooglegging D			-33,3

Een vermindering van de drooglegging van 30 cm ten opzichte van een drooglegging van 60 cm geeft voor onderwaterdrains een extra verlaging van de drogestofopbrengst ten opzichte van de referentie.

Om te zien hoe de drogestofopbrengst zich verhoudt tot de stikstofbeschikbaarheid is in Figuur 5.5 de stikstofopbrengst met (N1) en zonder (N0) stikstofbemesting uitgezet tegen de drogestofopbrengst. Dit leverde voor wel en geen onderwaterdrains enigszins verschillende lineaire relaties op en dat betekent dat per situatie de stikstofbenutting verschillend was.



Figuur 5.5 Stikstofopbrengst versus drogestofopbrengst met (N1) en zonder (N0) stikstofbemesting en met (D) en zonder (C) onderwaterdrains. Dit levert verschillende lineaire relaties op voor wel onderwaterdrains ($R^2=89\%$) en geen onderwaterdrains ($R^2=82\%$)

Per drainbehandeling was de relatie voor wel en geen stikstofbemesting gelijk. Voor de omzetting van stikstof in biomassa maakte het dus niet uit of de stikstof geleverd werd door mineralisatie of door stikstofbemesting. De relaties verschillen in richtingscoëfficiënt en in intercept voor wel en geen onderwaterdrains. Onderwaterdrains gaven bij een relatief lage NLV een hogere drogestofopbrengst door een hogere stikstofbenutting. Bij een relatief hoog aanbod van stikstof (NLV + bemesting) waren de drogestofopbrengsten voor wel en geen onderwaterdrains gelijk en dit betekent dat stikstofbemesting een lagere NLV compenseert door een hogere stikstofbenutting.

De geanalyseerde grasopbrengsten betrof de bruto drogestofopbrengst. De grasbenutting is niet onderzocht. Door het toepassen van onderwaterdrains of drukdrains kan, afhankelijk van het effect op de vochthuishouding, de netto grasopbrengst veranderen door meer of minder rijschade en/of vertrapping door weidend vee.

6 Conclusies en aanbevelingen

De conclusies van het onderzoek zijn als volgt:

Grondwaterstand

- Daar waar drukdrains en onderwaterdrains goed functioneerden hadden deze zowel een significant groter infiltrerend als drainerend effect ten opzichte van de referentie.
- Het effect van onderwaterdrains was voor het winter- en zomerhalfjaar gelijk. Voor onderwaterdrains (waar significant) werd de amplitude van het cyclische grondwaterstands-verloop met 23 % verlaagd ten opzichte van de referentie ('s zomers een hogere en 's winters een lagere grondwaterstand).
- Bij een dynamisch slootpeilbeheer werd het effect van onderwaterdrains beperkt versterkt en werd de amplitude van het grondwaterstandsverloop met 25 % verlaagd.
- Drukdrains gaven ten opzichte van onderwaterdrains extra infiltratie in het zomerhalfjaar. Voor drukdrains was de grondwaterstand in de zomer gemiddeld 55 % hoger en in de winter gemiddeld 25 % lager (vergelijkbaar met onderwaterdrains), bij een grondwaterstand voor de referentie die respectievelijk 25 cm lager en 25 cm hoger was dan het gemiddelde (normatieve) grondwatervolume van de referentie.
- De schatting van de effecten voor drukdrains was relatief conservatief ten opzichte van het potentiële effect, doordat op een aantal percelen de instelling en werking van de waterinfiltratie verlaagd was ten opzichte van de aanvang van de metingen.
- Voorwaarde voor een goede werking van onderwaterdrains en drukdrains is dat veel aandacht nodig is voor:
 - De drainafstand; een kleinere drainafstand had een groter effect op de grondwaterstand.
 - Het voorkomen van vervuiling (instroom van bagger) en drukverlies (daling van het peil van het oppervlaktewater en/of in de toevoerregeling van drukdrains)
- Voor extra infiltratie in de zomer bij onderwaterdrains mag de slootwaterstand niet lager zijn dan 35-40 cm onder maaiveldniveau.
- Voor drukdrains dient het slootpeil gelijk of hoger te zijn aan de streefgrondwaterstand om het terugstromen van ingepompt water via de bodem naar de sloot te voorkomen.

Grasopbrengst

- Daar waar onderwaterdrains zorgden voor extra waterinfiltratie in het zomerhalfjaar verlaagde de stikstoflevering van de bodem en verhoogde de stikstofbenutting (omzetting van beschikbare stikstof uit de bodem en bemesting in biomassa).
- De hogere stikstofbenutting compenseerde de verlaging van de NLV.
- Uiteindelijk was het netto effect op de grasproductie onder bemeste omstandigheden relatief beperkt.

Aanbevelingen voor de toepassing van onderwaterdrains en drukdrains:

- Voor een correcte aanleg van drains ten behoeve van een infiltratiesysteem wordt verwezen naar de KIWA certificering die hiertoe is opgesteld (KIWA, 2021).
- In de eerste plaats dient rekening gehouden te worden met de waterdoorlatendheid van het veen. Hierop moet de drainafstand worden afgestemd. De drainafstand is maximaal 6 meter (Van den Akker et al., 2013), maar bij voorkeur 4 m (KIWA, 2021).
- Om bij infiltreren verlies van water naar belendende sloten te voorkomen dient het slootpeil ingesteld te worden op de gemiddelde gewenste grondwaterstand (streefpeil).
- Aangezien de aanleg van onderwaterdrains een hoge investering vraagt (zeker voor drukdrains) en deze gevoelig zijn voor vervuiling, pleit dit voor het doelgericht inzetten van de drains, met een zorgvuldige aansturing en controle van het systeem.
- Daarbij moet worden voorkomen dat het baggerniveau in de sloot te hoog wordt of dat bagger in het waterreservoir en infiltratiesysteem wordt gepompt. Om te voorkomen dat lucht in het infiltratiesysteem komt, mag het waterpeil in de sloot of het reservoir nooit onder de bovenkant van de drains komen.
- Controle en goed onderhoud moet mogelijk zijn, zodat het systeem goed kan worden doorgespoeld en eventuele luchtinsluitingen kunnen worden verwijderd.
- Voor het doorspoelen van leidingen wordt geadviseerd om ook de uiteinden van de drains op een collectordrain aan te sluiten, die met instelbare drainage basis (draai pijp) kan lozen op een naburige sloot.
- Het gebruik van automatische drukopnemers voor het meten van de grondwaterstand biedt de mogelijkheid om de pompaansturing volledig te automatiseren. Het advies is om meerdere automatische drukopnemers per perceel of kavel in te zetten, zodat bij storing waarnemingen beschikbaar blijven en de aansturing niet stagneert, en er een beter beeld van de ruimtelijke spreiding in grondwaterstand ontstaat.
- Om het overzicht te behouden vergt het inzetten van automatische drukopnemers op bedrijfsschaal een goede organisatie van data. Dit betreft identificatie van de sensoren gekoppeld aan een locatie in het veld en inzicht in de waarnemingen van de sensor.

7 Bronnen

- Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007. Maaiveldddaling, afbraak en CO2 emissie van Nederlandse veenweidegebieden. Leidraad Bodembescherming, Sdu, Den Haag, 32 blz.
- Akker, J.J.H. van den, P.J. Kuikman, F. de Vries, I. Hoving, M. Pleijter, R.F.A. Hendriks, R.J., Wolleswinkel, R.T.L. Simões and C. Kwakernaak, 2008. Emission of CO2 from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission. Proceedings of the 13th International Peat Congress After Wise Use – The Future of Peatlands, Vol. 1 Oral Presentations, Tullamore, Ireland, 8 – 13 June 2008. International Peat Society, Jyväskylä, Finland. ISBN 0951489046. pp 645-648
- Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, I.E. Hoving en M. Pleijter, 2010. Toepassing van onderwaterdrains in veenweidegebieden. Effecten op maaiveldddaling, broeikasgasemissies en het water. Werkgemeenschap voor Landschapsonderzoek (WLO), Utrecht, Landschap 27/3, 137-149
- Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks and M. Pleijter, 2012. CO2 emissions of peat soils in agricultural use: calculation and prevention. Proc. of the 19th Conference of the Int. Soil Tillage Res. Org. www.ISTRO.org
- Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, I.E. Hoving, J. van Kleef, B. Meerkerk, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research Centre), Alterra-rapport 2466. 114 blz
- Akker, J.J.H. van den, et al 2018a. Maaiveldddaling veenweidegebieden: monitoring en metingen aan percelen met en zonder onderwaterdrains.
- Akker J.J.H. van den, Hendriks R, Hoving I, Pleijter M, Lesschen JP. 2018b. Effecten van onderwaterdrains. Presentatie, <https://www.veenweiden.nl/wp-content/uploads/2018/03/6.1-Effecten-onderwaterdrainage-Jan-van-den-Akker.pdf>
- Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, 2017. Diminishing peat oxidation of agricultural peat soils by infiltration via submerged drains. FAO 2017. Proceedings of the Global Symposium on Soil Organic Carbon 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. pp. 436-439. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/d6555d8d-1b19-4c04-a25d-74474e6c0a11/>
- Cate, J.A.M., A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften. Deel B: Grondwater. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document 19B.
- Couwenberg, J., Thiele, A., Tanneberger, F., Augustin, J., Bärtsch, S., Dubovik, D., Lashchynskaya, N., Michaelis, D., Minke, M., Skuratovich, A., and Joosten, H., 2011. Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy, *Hydrobiologia*, 674, 67-89, <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0729-x>.
- Craats, D. van den, 2019. Draininspectie Proefveld KTC Zegveld, Wageningen, Wageningen Environmental Research. Notitie.
- Deru, J., F. Lenssinck, I.E. Hoving, J. J.H. van den Akker, J. Bloem en N. van Eekeren, 2014. Effect onderwaterdrainage op bodemkwaliteit veenweiden. AgriMedia, Wageningen. V-focus juni 2014.
- Evans, C. D., Peacock, M., Baird, A. J., Artz, R. R. E., Burden, A., Callaghan, N., Chapman, P. J., Cooper, H. M., Coyle, M., Craig, E., Cumming, A., Dixon, S., Gauci, V., Grayson, R. P., Helfter, C., Heppell, C. M., Holden, J., Jones, D. L., Kaduk, J., Levy, P., Matthews, R., Mcnamara, N. P., Misselbrook, T., Oakley, S.,

Page, S., Rayment, M., Ridley, L. M., Stanley, K. M., Williamson, J. L., Worrall, F., and Morrison, R., 2021. Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions, *Nature*, <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03523-1>.

Genstat Nineteenth Edition. VSN International Ltd, 2018

Hardeveld, H.A. van, Driessen, P.P.J., Schot, P.P., Wassen, M.J., 2018. Supporting collaborative policy processes with a multi-criteria discussion of costs and benefits: the case of soil subsidence in Dutch peatlands. *Land Use Policy* 77, 425–436. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.002>

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. Pilot onderwaterdrains Utrecht. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2479.

Hendriks, R.F.A en J.J.H. van den Akker, 2012. Effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in veenweiden: modelberekeningen met SWAP-ANIMO voor veenweide-eenheden naar veranderingen van de fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater bij toepassing van onderwaterdrains in het westelijke veenweidegebied. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2354.

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2014a. Pilot onderwaterdrains Utrecht. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research Centre), Alterra-rapport 2479.

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, P.C. Jansen en H.Th.L. Massop, 2014b. Effecten van onderwaterdrains op maaiveldvaling, waterbeheer, wateroverlast en waterkwaliteit in peilvak 9 van polder Groot-Wilnis Vinkeveen. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research Centre), Alterra-rapport 2480.

Hoving, I.E., G. André, J.J.H. van den Akker en M. Pleijter, 2008. Hydrologische en landbouwkundige effecten gebruik 'onderwaterdrains' op veengrond. Lelystad, Animal Sciences Group van WUR. Rapport 102.

Hoving, I.E., J.J.H. van den Akker, M. Pleijter en K. van Houwelingen, 2011. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang. Wageningen, WUR-LiveStock Research, rapport 449.

Hoving, I.E., P. Vereijken, K. van Houwelingen en M. Pleijter, 2013. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains bij dynamisch slootpeilbeheer op veengrond. Lelystad, Wageningen-UR Livestock Research. Rapport 719.

Hoving, I.E., H. Massop, K. van Houwelingen, J.J.H. van den Akker en J. Kollen, 2015. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang; Vervolgonderzoek gericht op de toepassing van een zomer- en winterpeil. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research. Livestock Research Rapport 875.

Hoving I.E., A., J.J.H. van den Akker, H.T.L. Massop, G.J. Holshof, K. van Houwelingen, 2018. Precisiewatermanagement met pompgestuurde onderwaterdrains op veenweidegrond. Wageningen Livestock Research, Report 1123

Hoving, I.E, G. Holshof, R.F.A. Hendriks, 2020. Effecten waterbeheersmaatregelen op veenweidebedrijven in Noord Holland. Technische en economische consequenties en effecten op bodemdaling en broeikasgasemissie. Wageningen Livestock Research, Rapport 1274.

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

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

-
- Höper., H., 2007. Freizetting van Treibhausgasen aus deutschen Mooren (Emissie of greenhouse gases from German peatlands), *Telma* 37, pp 85-116.
- Jansen, P.C., E.P. Querner en J.J.H. van den Akker, 2009. Onderwaterdrains in het veenweidegebied en de gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de maaiveldaling. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1872. 54 blz
- Jurasinski, G., Günther, A., Huth, V., Couwenberg, J., and Glatzel, S., 2016. Paragraph 5.1 Greenhouse gas emissions, 79–93, Chapter 5 Ecosystem services provided by paludiculture of Book: W. Wichtmann, C. Schröder & H. Joosten, 2016, *Paludiculture – productive use of wet peatlands, Climate protection – biodiversity – regional economic benefits*. Schweizerbart Science Publishers. Stuttgart), 2016.
- KIWA, 2021. Beoordelingsrichtlijn. Voor het KOMO procescertificaat voor Buisdrainage en. Veenweideinfiltratie. 2020-23v2. Concept BRL1411. 2020-12-17. KIWA Nederland B.V.
- Kluge, B., Wessolek, G., Facklam, M. Lorenz, M., Schwärzel, K., 2008. Long-term carbon loss and CO₂-C release of drained peatland soils in northeast Germany. *European Journal of Soil Science* 59, 1076-1086
- Kroeze, C., 1994. Nitrous oxide (N₂O). Emission inventory and options for control in the Netherlands. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven. Report nr. 773001 004.
- Kuikman, P.J., van den Akker, J.J.H. & de Vries, F., 2005. Emissie van N₂O en CO₂ uit organische landbouwbodems. Wageningen, Alterra. Alterra Report 1035-2, 66 pp.
- Makkink, g.f., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. *jour. inst. of Water eng.*, 11: 277-288.
- Massop, H. Th. L., W.J.M. de Groot en P.C. Jansen, 2017. Hydrologisch onderzoek op twee locaties nabij Assendelft en Nauerna. Wageningen, Wageningen Environmental Research. Notitie.
- Moore, T.R. and M. Dalva, 1993. The influence of temperature and water table position on carbon dioxide and methane emissions from laboratory columns of peatland soils. *Journal of Soil Science* 44, pp 651-664.
- Motelica-Wagenaar, A. M. and J. Beemster, 2020. Greenhouse gas emissions and surface water management, *Proc. IAHS*, 382, 643–649, <https://doi.org/10.5194/piahs-382-643-2020>.
- Mulder J.R. en T.C van Steenberg, 1995. De bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied Zeevang Resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. Rapport 403, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Pleijter, M. en J.J.H. van den Akker, 2007. Onderwaterdrains in het veenweidegebied. Toelichting op de methode en meetinrichting. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1586
- Pleijter, M., C.L. van Beek en P.J. Kuiman, 2011. Emissie van lachgas uit grasland op veengrond; Monitoring lachgasfluxen op melkveeproefbedrijf Zegveld in de periode 2005 - 2009. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2116, 82 blz.; 40 fig.; 25 tab.; 34 ref.

-
- Querner, E.P. , P.C. Jansen, J.J.H. van den Akker, C. Kwakernaak, 2012. Analysing water level strategies to reduce soil subsidence in Dutch peat meadows. *Journal of Hydrology* 446–447 (2012) 59–69.
- Renger, M. Wessolek, G., Schwärzel, K., Sauerbrey, R. Siewer, C., 2002. Aspects of peat conservation and water management. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165, 487-493.
- Schothorst, C. J., 1977: Subsidence of low moor peat soils in the Western Netherlands, *Geoderma*, 17, 265–291.
- Schrier-Uijl, A.P., P.S. Kroon, P.A. Leffelaar, J. C. van Huissteden, F. Berendse, E. M. Veenendaal, 2010. Methane emissions in two drained peat agro-ecosystems with high and low agricultural intensity. *Plant Soil* (2010) 329:509–520
- Stouthamer, E., H.J.A. Berendsen, J. Peeters en M.T.I.J. Bouman, 2008. Toelichting Bodemkaart Veengebieden provincie Utrecht, schaal 1:25.000, Utrecht, Departement Fysische Geografie, Faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht.
- Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., and Drösler, M., 2020. A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application, *Ecol. Indic.*, 109, 105838, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>.
- Van den Pol-van Dasselaar, A., 1998. Methane emissions from grasslands. Ph.D. thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, 179 pages.
- Vermeulen, J. en R.F.A. Hendriks, 1996. Bepaling van afbraaksnelheden van organische stof in laagveen. Ademhalingsmetingen aan ongestoorde veenmonsters in het laboratorium. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 288. 124 blz.
- Vos, J.A. de, P.J.T. van Bakel, I.E. Hoving en J.G. Conijn, 2006. Waterpas-model: a predictive tool for water management, agriculture, and environment. *Agric. Wat. Man.* 86(1-2): 187-195.
- Wessolek, G., K. Schwärzel, M. Renger, R. Sauerbrey, C. Siewer, 2002. Soil hydrology and CO₂ release of peat.
- Wösten, H., F. de Vries, T. Hoogland, H. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman, 2013. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2387.


Bijlage 1 Bodeminventarisatie

Proeflocatie Zegveld

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

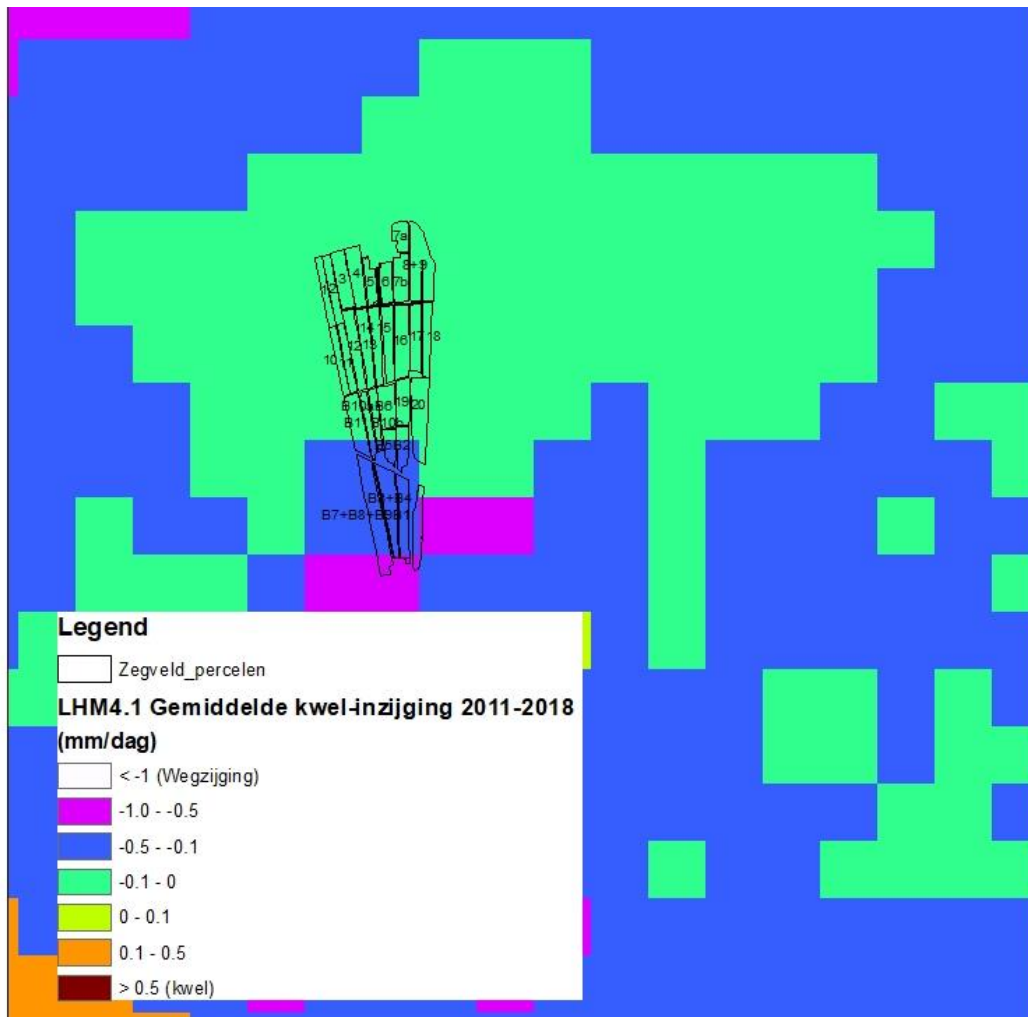
Tabel 1 Profielbeschrijving van perceel 2 op KTC Zegveld (Uit: Pleijter en Van den Akker, 2007).

Foto: Gert Peek (Wageningen Research)

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

Kwel/wegzijing

Door het toepassen van onderwaterdrains (al of niet pompgestuurd) wordt de grondwaterstand beïnvloed en dit kan tot extra waterverlies bij wegzijing of een afname van kwel leiden. In Figuur 1 staat een detail van de kwelkaart op basis van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM), waarin de percelen van proefbedrijf KTC Zegveld staan weergegeven. Voor alle proefpercelen (2, 3, 11, 13, 7b, 8b, Zw1, Vo2, 13-16) is uitgegaan van een lichte wegzijing van 0-0,1 mm per dag.

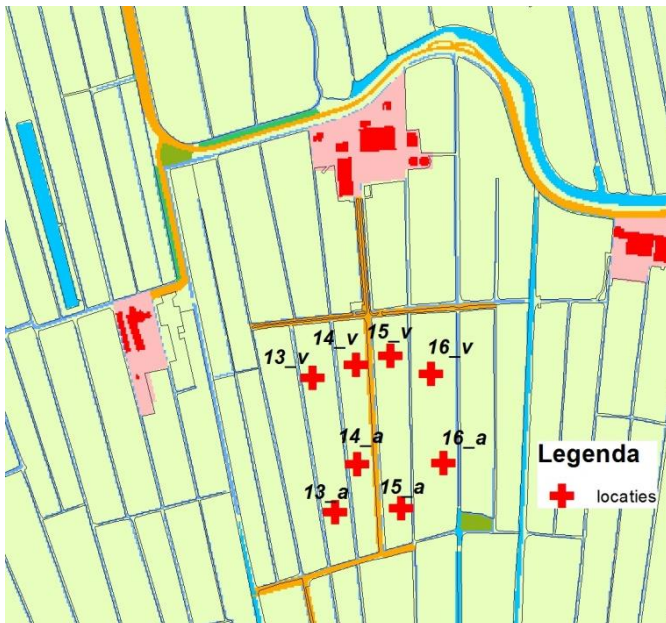


Figuur 1 Detail kwelkaart op basis van het LHM4.1 met daarin aangegeven de percelen van proefbedrijf KTC Zegveld. Voor alle proefpercelen (2, 3, 11, 13, 7b, 8b, Zw1, Vo2, 13-16) bedraagt de gemiddelde kwel/wegzijing 0-0,1 mm per dag.

Boorgatmetingen

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

De locaties op KTC Zegveld waar het boorgatenonderzoek is uitgevoerd staan in Figuur 2. Om de uitgangsgroundwaterstand te bepalen zijn vooraf op de locaties geperforeerde peilfilters geplaatst. Bij elke locatie zijn twee boorgaten gemaakt waarin een of twee metingen zijn uitgevoerd. Er is steeds gemeten met een geperforeerd filter zodat de vlotter vrij kon bewegen.



Figuur 2 Locaties boorgatenonderzoek KTC Zegveld op 14 maart 2016.

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

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

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

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

Kwadijk en Hobrede

In polder Zeevang bevinden zich afzettingen uit het pleistoceen op een diepte van circa 20 m. Daarboven bevinden zich mariene afzettingen die tot de formatie van Naaldwijk (laagpakket van Wormer) worden gerekend. Aan de oppervlakte komt in de polder een veenlaag (formatie van Nieuwkoop) voor die in dikte varieert tussen 0,80 en 1,0 meter. Het veen bestaat hoofdzakelijk uit zeggeveen of veenmosveen. Op plaatsen waar geen veenmosveen voorkomt is dit door vertering verdwenen, of is het door plaatselijke eutrofiëring nooit tot ontwikkeling gekomen. De bodemgesteldheid tot 1,20 m –mv is in kaart gebracht door Mulder et al., 1995 (Figuur 3).



Figuur 3 Bodemkaart polder Zeevang naar Mulder et al. (1995) weergegeven met legenda van de bodemkaart van Nederland

De aanwezigheid en de dikte van het (zware) kleidek bepalen in grote mate de variatie in bodemopbouw. Het kleidek varieerde op beide locaties in dikte tussen 5 en 30 cm en bestaat uit matig zware kalkloze klei. De proefpercelen in Kwadijk hadden een bovengrond die bestond uit kleilig moerig materiaal (koopveengronden), maar op deze locatie lagen ook gronden waarbij de bovengrond bestond uit humusrijke klei (weideveengronden). Op de locatie Hobrede nam het organische stofgehalte van de bovengrond globaal van zuid naar noord af. Langs het spoor lagen gronden met een kleidek tot maximaal 30 cm dikte (weideveengronden). Achter het pilotbedrijf kwamen kleidekken voor zonder eerdlaag (waardveengronden). Zowel op het proefperceel als op het referentieperceel lagen hoofdzakelijk veengronden met een moerige bovengrond (koopveengronden), evenals van de proefpercelen in Kwadijk.

In de ondergrond werd op beide locaties onder het veen 'korte klei' aangetroffen. Dit is een afzetting die na rijping weer onder water is komen te liggen. De korrelige structuur van de klei veroorzaakt een grote verzadigde doorlatendheid. De onderkant van deze laag was moeilijk vast te stellen. In Hobrede nam de korrelige structuur van de klei naar het noorden toe af. Tot 150 cm –mv was er duidelijk sprake van korte klei, daaronder wordt de klei elastischer en compacter, met nog een enkel dun laagje met korte klei. De klei onder de korte klei was zwaar van textuur en bevatte een beetje organische stof (rietresten). Het profiel liep langzaam af en vanaf 300 cm –mv werd het sediment duidelijk zandiger en kalkrijk (het materiaal is niet getest op kalkrijkdom). Onderin de boring bestond het materiaal uit kalkrijk wadzand behorende tot de afzettingen van Calais.

Warder

Van de locatie waar de percelen uit het onderzoek deel van uitmaakten is in het kader van een herinrichting in 1995 een detailbodemkaart gemaakt, schaal 1:10.000 (Mulder en Steenberg, 1995). De ligging van de proefpercelen is weergegeven in Figuur 4. Daarbij zijn de nummers van de proefpercelen aangegeven. In juni 2012 is de bodem van de proeflocaties geïnventariseerd aan de hand van boorgaten op basis waarvan het bodemprofiel is beschreven en de grondwaterstand en de doorlatendheid zijn gemeten. In deze paragraaf zijn de belangrijkste bevindingen samengevat.

De ligging van deze boorlocaties is weergegeven in Figuur 5 (grotere lichtblauwe punten). De overige punten betreft boorgatmetingen die staan beschreven in Mulder en Steenberg (1995).



Figuur 4 Ligging van de proefpercelen (Mulder en Steenberg, 1995).



Figuur 5 Ligging van de boorlocaties (Mulder en Steenberg, 1995).

De proefpercelen lagen op veengronden met een kleidek van ca. 20 cm dikte. Op een diepte van 1,20–1,40 m –maaiveld ging het veen over in ongerijpte klei. De top van de kleiondergrond bestond uit kalkloze rietklei, hieronder kwam kalkrijke klei voor, die werd afgewisseld met zandlaagjes. De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) werd geschat op 0,65–0,75 m –maaiveld, terwijl de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) werd geschat op 0,15–0,25 m –maaiveld. Op de detailbodemkaart wordt het bodemtype als waardveengrond gepresenteerd.

De bovenste moerige horizont was sterk verweerd en bestond uit kleilig veen. De dikte en aard van de verweerde horizonten week niet zichtbaar af ten opzichte van 1995. Uit de profielbeschrijvingen is op te maken dat onder deze humeuze tot humusrijke laag een kalkloze zware kleilaag kan voorkomen. Deze 'grijze' kleilaag, kenmerkend voor waardveengronden, werd echter sporadisch aangetroffen, en waar die aangetroffen werd, was de laag 1 á 2 cm dik. Deze kleilaag, en het kleidek in het algemeen, heeft een stagnerende werking hebben op infiltrerend regenwater. Om deze reden werd de GHG geschat binnen de 0,25 m –maaiveld.

Het veen onder de kleilaag tot een diepte van 0,40 – 0,45 m –maaiveld was sterk verweerd. De verweerde laag was kleilig en roestig; plantenresten waren niet herkenbaar. De beworteling van deze laag zal moeizaam gaan, aangezien deze horizont sterk gelaagd kan zijn. Ook in deze laag was de verticale doorlatendheid gering. De aanwezigheid van enige heidetakjes en het gelaagde karakter van het veen kan wezen op een herkomst van veenmosveen. Tussen 0,40 en 0,75 m –maaiveld was het veen minder sterk verweerd. De veensoort kon duidelijk worden afgeleid en bestond uit zeggeveen.

Dieper in het profiel werd het veen geleidelijk rijker en ging over van rietzeggeveen naar rietveen. Vanaf een diepte van 0,65 – 0,75 m (afhankelijk van de locatie) raakte het veen abrupt gereduceerd. Op deze diepte werd de GLG geschat. Op de overgang tussen het veen en de kleiondergrond kwam een 0,05 – 0,10 m dikke baggerlaag voor. De bagger bestond uit geoxideerd kleilig rietveen en was zwart van kleur. De top van de kleiondergrond lag op 1,10 – 1,40 m –maaiveld en bestond uit zware ongerijpte kalkloze rietklei. Het aandeel riet nam dieper in het profiel af en de klei werd kalkrijk en minder zwaar van textuur. Tot tenminste 7,80 m –mv. bevondt zich een dik pakket ongerijpte kalkrijke klei. De klei werd af en toe afgewisseld door dunne, 0,01 – 0,10 cm dikke zandlaagjes die bestaan uit kleilig zeer fijn zeezand. De dikte van het veenpakket was tussen 1995 en 2012 met gemiddeld ruim 13 cm afgenomen, hetgeen neerkomt op een gemiddelde afname van 7,6 mm per jaar.

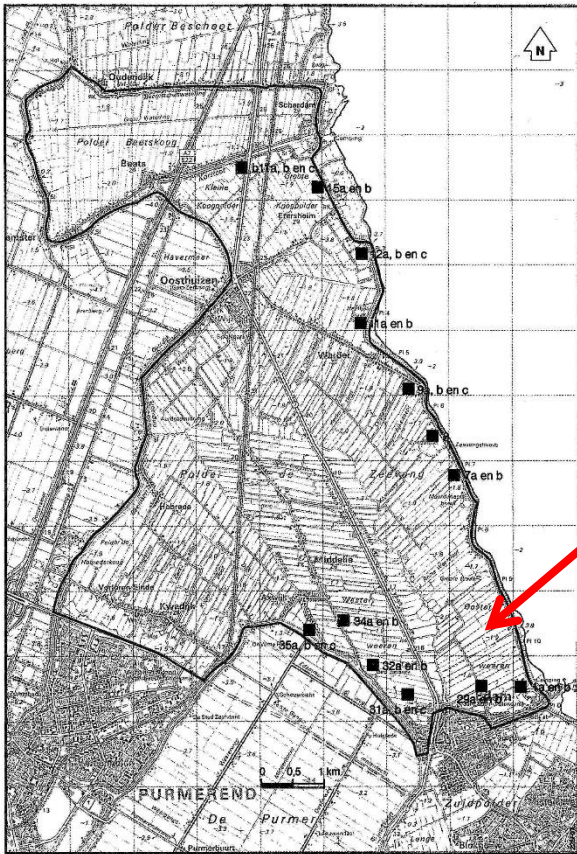
Boorgatmetingen

De gemiddelde k-waarden die bepaald zijn met de boorgatmetingen (8 juni 2012) zijn in Figuur 6 ruimtelijk weergegeven. De gemeten waarden variëren tussen 0,025 m tot 0,071 m.dag⁻¹. De hoogste waarden werden gevonden nabij de IJsselmeerdijk.



Figuur 6 Gemeten k-waarden met de boorgatmethode 8 juni 2012.

Mulder en Steenbergen (1995) hebben ook boorgatmetingen uitgevoerd in polder Zeevang. De locaties lagen op enige afstand van de proefpercelen. In Figuur 7 staan de boorgatlocaties en de globale ligging van de proefpercelen (rode pijl).



Figuur 7 Locaties boorgatmetingen Mulder en Steenbergen (1995) en ligging proefpercelen (rode pijl).

De locaties 1a en b en 29 a en b lagen het dichtstbij de proefpercelen. De metingen uit Figuur 7 hebben betrekking op de laag tot maximaal 1 m diepte. De k-waarden die door Mulder en Steenbergen variëren voor beide locaties tussen 0,05 en 0,15 m/d. De k-waarden waren gelijk tot iets hoger dan die in 2012 op de proefpercelen gemeten zijn. Elders werden in polder Zeevang wel hogere k-waarden gemeten.

Drainageadvies

Eisen:

- Uitholling(m) max. 10 cm
- Infiltratie dient de verdamping te compenseren (maximaal 5 mm/d)
- Gemiddeld over een decade lijkt een aanvulling van 3 mm/d (verdamping - neerslag - berging) een redelijke aanname.

Verdere aannamen: D= 1,0 m (dikte veenlaag)
 $k_1 = 0,04$ m/d (gemiddelde van alle metingen)
 $k_2 = 0,04$ m/d (gemiddelde van alle metingen)

De formule van Hooghoudt is toegepast op een infiltratiesituatie, d.w.z. omgekeerde drainage. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de formule van Hooghoudt bij voorkeur wordt toegepast als de doorlatendheid van de bovenste laag groter is of gelijk is aan die van de onderste laag, hetgeen hier aangenomen is.

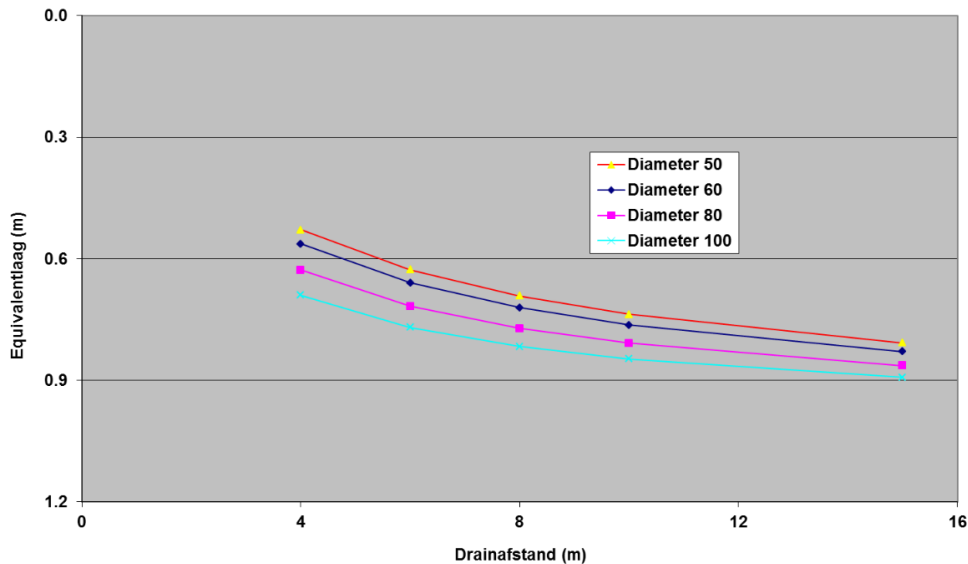
De dikte van de equivalentlaag d is te bepalen met:

$$d = \frac{D}{1 + \frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{\pi r}}$$

De drainafstand (L) in relatie tot opbolling (m) en infiltratie (q) is te bepalen met:

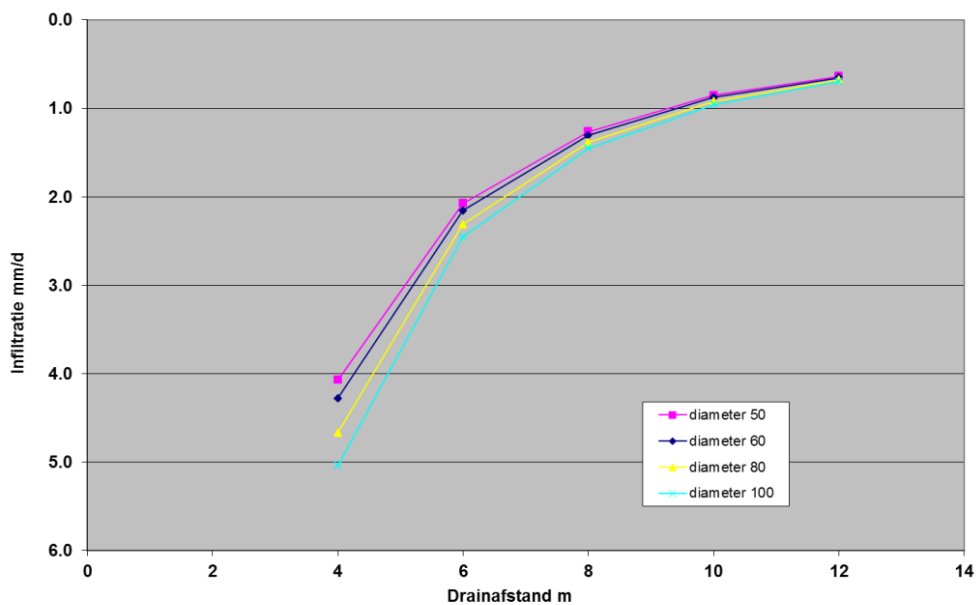
$$L^2 = \frac{8k_2dm + 4k_1m^2}{q}$$

Voor diameters van 50, 60, 80 en 100 mm en voor drainafstanden variërend van 4-15 m is de equivalentlaagdikte berekend (Figuur 8). De dikte van de equivalentlaag is in de orde van 0,5-0,9 m afhankelijk van de drainafstand en diameter.



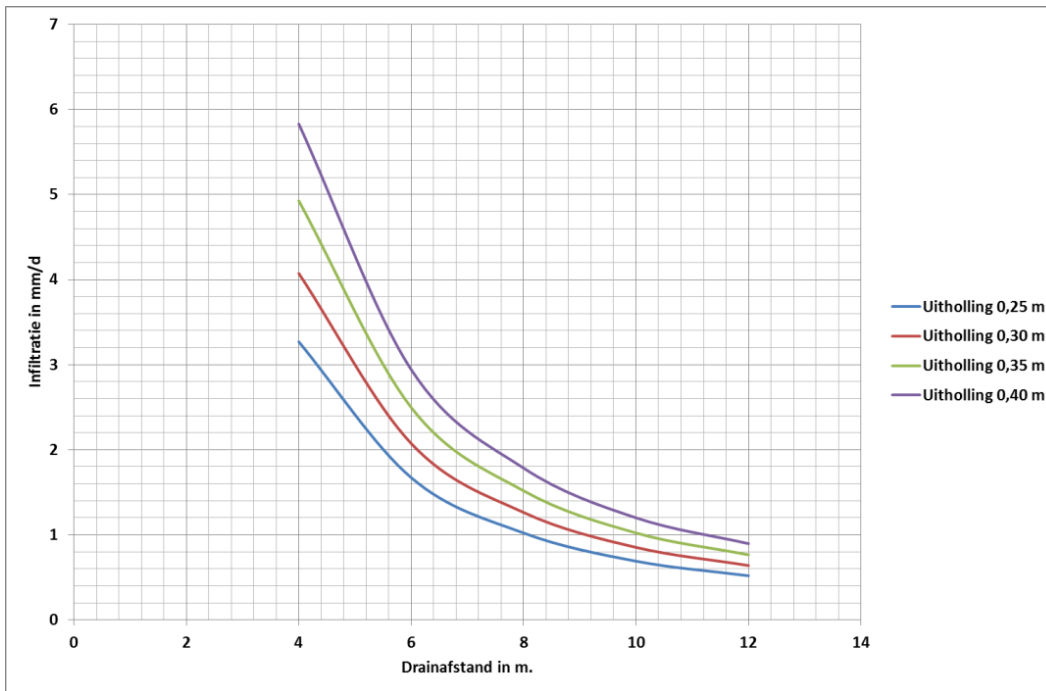
Figuur 8 Dikte equivalentlaag bij verschillende drainafstanden en draindiameters.

Gezien de geringe k-waarde is de infiltratie beperkt. Om te kunnen voldoen aan een infiltratie van 3 mm/d, kunnen verschillende combinatie van drainafstand en uitholling worden beproefd. De relatie tussen drainafstand en infiltratie voor verschillende draindiameters bij een uitholling van 30 cm is weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9 Relatie tussen infiltratie en drainafstand bij verschillende draindiameters.

Bij een uitholling van 0,25 m wordt bij een drainafstand van 4 m voldaan aan infiltratie van 3 mm/d. Bij grotere uitholling zijn grotere drainafstanden mogelijk (Figuur 10).



Figuur 10 Relatie tussen infiltratie en drainafstand bij verschillende uithollingen en draindiameter van 80 mm

Een uitholling van 25 cm is te gering om een infiltratie van 3 mm/d te realiseren bij 6 m drainafstand, alleen bij 4 m drainafstand wordt 3 mm/d gerealiseerd. Een uitholling van 40 cm voldoet om een infiltratie van 3 mm/d te realiseren bij een drainafstand van 6 m, bij grotere drainafstanden wordt de 3 mm/d niet bereikt. Bij grotere draindiameters, bij 100 mm, kan ook bij geringere uitholling van 35 mm voldaan aan infiltratie van 3 mm/d bij een drainafstand van 6 m.

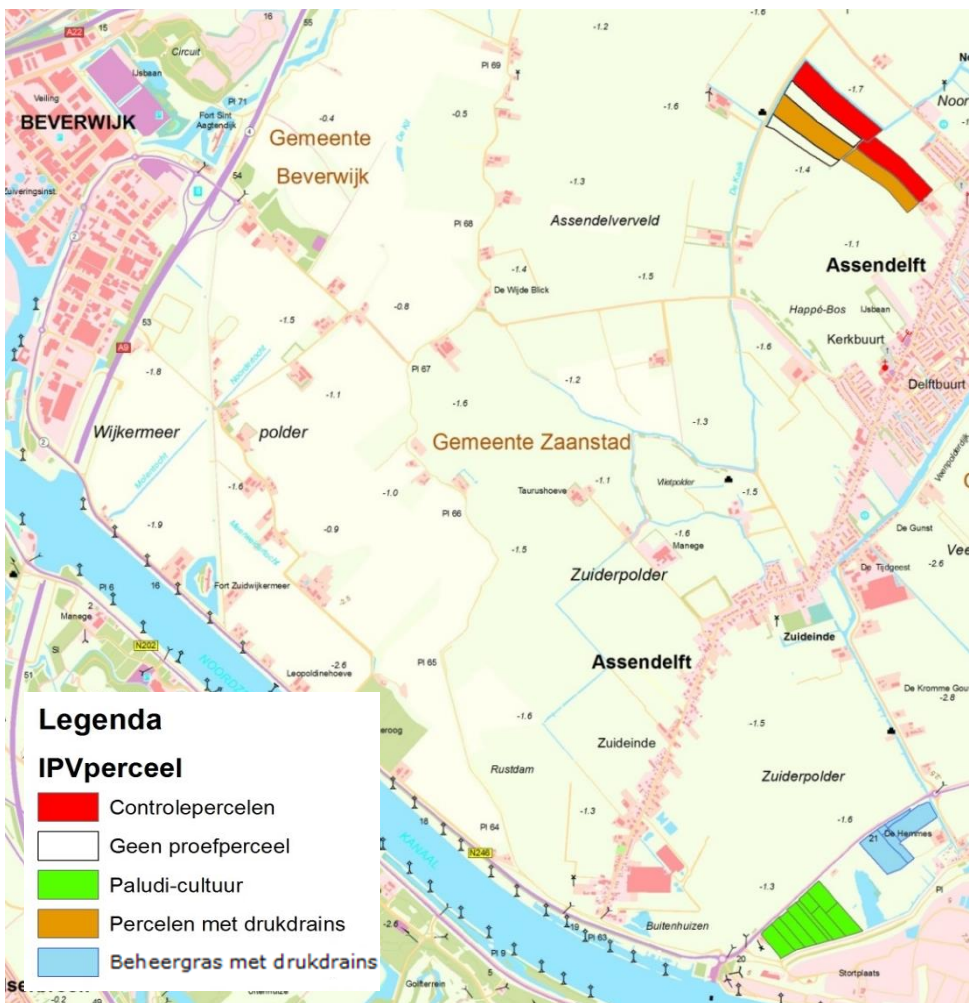
Om een infiltratie van 3 mm/d te realiseren dienen dus relatief korte drainafstanden te worden gehanteerd. Uitgaande van een infiltratie van 3 mm/d en een maximale uitholling van 25 cm, zou een drainafstand van ca. 4 m dienen te worden gehanteerd bij draindiameters van 60-80 mm. Hierbij zouden de drains op 60-70 cm-mv kunnen worden gelegd. De drooglegging in veengebieden is meestal ca. 40 cm-mv. In de winter staat de grondwaterstand in het maaiveld en wordt een deel van het neerslagoverschot via maaiveldgreppels afgevoerd.

Conclusies

- De gevonden k-waarde voor rietzeggeveen is relatief laag in vergelijking met metingen van Mulder (1995), als gemiddelde voor de berekeningen met Hooghoudt is 4,0 cm/d aangehouden.
- Bij toepassing van onderwaterdrainage geeft de formule van Hooghoudt aan dat: uitgaande van een benodigde infiltratie van 3 mm/d en een maximale uitholling van 25 cm een drainafstand van 4 m zal voldoen, voor verschillende draindiameters van 50-80 mm. Omdat door de geringe doorlatendheid de uitholling relatief groot is, dienen de drains niet te diep te worden gelegd. Afhankelijk van het polderpeil zouden de drains op 50-60 cm-mv kunnen worden gelegd.
- Aan de vooraf gestelde eis van maximale uitholling van 10 cm kan niet worden voldaan.
- Door het hoge ontwateringsniveau kunnen grondwaterstanden tot in maaiveld voorkomen. De maaiveldafvoer wordt bevorderd door het bol leggen van het perceel. Ook bij toepassing van buisdrainage is bol leggen van het perceel aan te bevelen, met maaiveldgreppels boven de drains.
- In droge situaties (zomer) zal bij een diepe drooglegging het veen versneld worden afgebroken, dit vergt een zorgvuldig peilbeheer om dit proces tegen te gaan.

Assendelft en Nauerna

De proeflocaties uit het IPV-onderzoek bestonden enerzijds uit proefpercelen op het pilot melkveebedrijf in Assendelft en anderzijds uit relatief natte natuurpercelen in de polder Zuiderveen nabij Nauerna. Op beide locaties waren drukdrains aangelegd. Een kaart van de proeflocaties staat in Figuur 11. Binnen polder Zuiderveen (oostelijk deel van de blauw gearceerde percelen rechtsonder) is de ligging van de drukdrains niet aangegeven.



Figuur 11 Ligging van de onderzoekslocaties, met proefpercelen op het pilot melkveebedrijf in Assendelft (noordelijk) en in polder Zuiderveen nabij Nauerna (zuidelijk). Binnen polder Zuiderveen is de ligging van de drukdrains niet aangegeven.

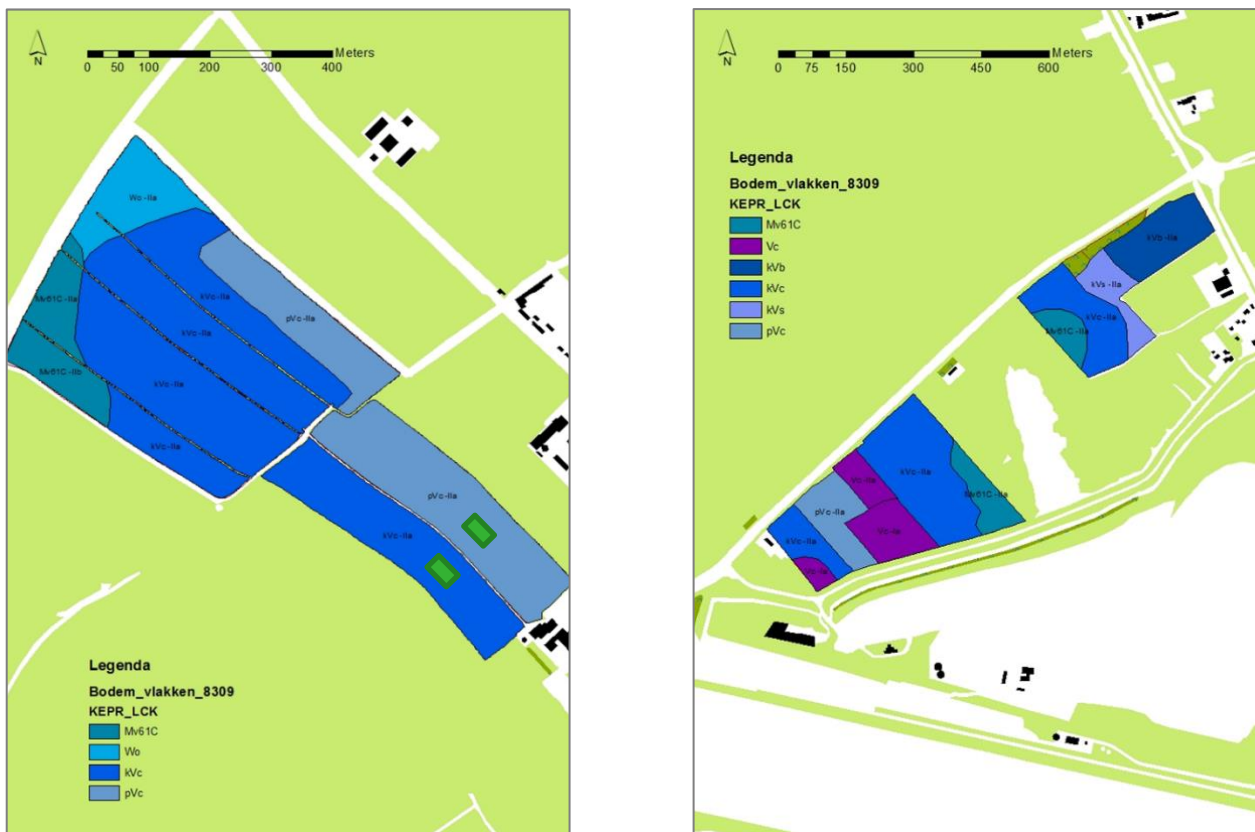
Ter voorbereiding van de aanleg van de proefpercelen is door Wageningen Environmental Research (WENR) een bodeminventarisatie uitgevoerd (Massop, 2017). De geselecteerde onderzoeklocaties lagen in een veengebied. Het maaiveld lag globaal tussen 1,60-2,00 m –NAP. In de ondergrond kwam een 1,5 -3 m dikke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

Volgens de 1:50.000 bodemkaart betrof de bodems van de percelen van de locatie Assendelft hoofdzakelijk de bodemeenheden koopveengrond (hVc). De proeflocatie Assendelft werd tevens gebruikt voor onderzoek naar broeikasgasemissie en maaiveldaling in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV). De proefplots lagen nabij het pilotbedrijf op perceel 1 en 1R (paragraaf 2.2).

Uit grondboringen bleek de bodem hier geclassificeerd te worden als weideveengrond (organische stofgehalte in de bovengrond < 20 %) of neigde naar koopveengrond (organische stofgehalte in de bovengrond > 25 %). De ondergrond bestond op de proefplots uit zeggeveen met daaronder rietzeggeveen.

Op de percelen van de locatie Nauerna kwamen volgens de detail bodemkaart meerdere bodemeenheden voor. De bodem onder de graspercelen in Zuiderveen werd grotendeels gekwalificeerd als een waardveengrond met verschillende veensoorten in de ondergrond, namelijk bosveen, rietzeggeveen en veenmosveen met een kleidek van minder dan 15 cm. Een klein deel van de percelen, aan de westkant van de proeflocatie, werd gekwalificeerd als kleigrond met een veenondergrond. In Figuur 12 staat de uitsnede

van een bodemkaart met de onderzoekspcelen en in Tabel 3 staat de beschrijving van de voorkomende bodemeenheden. In het linkerdeel van Figuur 12 zijn met groene kaders de NOBV-proefvelden aangegeven.



Figuur 12 Bodemkaart met codes voor verschillende bodemtypen van de proefpercelen te Assendelft en in polder Zuiderveen. In het linker deel van de figuur is met groene kaders de NOBV-proefvelden aangegeven.

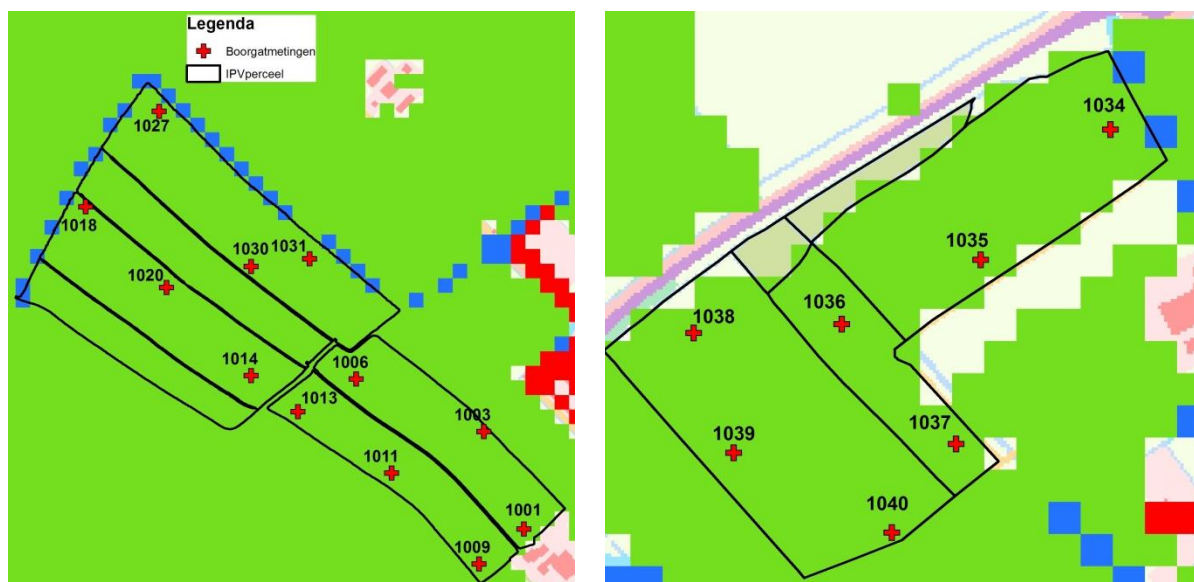
Tabel 3 Beschrijving van de voorkomende bodemeenheden op de bodemkaarten uit Figuur 2.2.

Bodemeenheid	Bodemtype	Kenmerk	Ondergrond
Mv61C	drechtvaaggronden	kleigrond met veenondergrond	veen
Vc	vlierveengronden	geen kleidek, moerige gerijpte bovengrond	rietzeggeveen
Wo	nesvaaggronden	kleigrond met ongerijpte ondergrond	slappe klei en veen
kVb	waardveengronden	kleidek, minerale eerdlaag <15cm	bosveen
kVc	waardveengronden	kleidek, minerale eerdlaag <15cm	rietzeggeveen
kVs	waardveengronden	kleidek, minerale eerdlaag <15cm	veenmosveen
pVc	weideveengronden	kleidek, minerale eerdlaag >15cm	rietzeggeveen

Boorgatmetingen

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

De boorgatmetingen zijn uitgevoerd op 24 maart 2017 op het pilotbedrijf te Assendelft en op 29-3-2017 in polder Zuiderveen. Op het pilotbedrijf zijn 12 metingen uitgevoerd en in het Zuiderveen 7 metingen. In Figuur 13 staan de meetlocaties. In Tabel 4 staan de gemiddelde resultaten van de boorgatmetingen.



Figuur 13 Detailkaart locatie boorgatmetingen bij Assendelft (links) en Nauerna (rechts).

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

Tabel 4 Gemiddelde waarde voor k_{sat} per proeflocatie.

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

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

Bijlage 2 Gevoeligheidsanalyse k-waarden

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

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

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

Tabel 1 Mediane k-waarden (m per dag) gevoeligheidsanalyse boorgatmetingen per perceel (Zegveld)

Perceel	k _{gem}	k _{gem}	k _{gem}	k _{gem}	k _{gem}	k _{gem}	k _{gem}	Max	Min
	basis	r+0,5 cm	r-0,5 cm	Bg+5cm	Bg-5cm	Hi+5cm	Hi-5cm		
13_a	0.14	0.17	0.12	0.13	0.16	0.17	0.12	0.17	0.12
13_v	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04
14_a	0.17	0.20	0.14	0.15	0.19	0.21	0.14	0.21	0.14
14_v	0.07	0.08	0.06	0.06	0.08	0.08	0.06	0.08	0.06
15_a	0.11	0.13	0.10	0.10	0.13	0.13	0.10	0.13	0.10
15_v	0.18	0.21	0.15	0.16	0.20	0.22	0.15	0.22	0.15
16_a	0.46	0.54	0.38	0.42	0.50	0.55	0.39	0.55	0.38
16_v	0.46	0.54	0.39	0.42	0.52	0.57	0.39	0.57	0.39
Gemiddeld	0.20	0.24	0.17	0.19	0.23	0.25	0.17	0.25	0.17
Mediaan	0.16	0.18	0.13	0.14	0.17	0.19	0.13	0.19	0.13

De gevoeligheidsanalyse laat zien dat de grootte van de k-waarde enigszins wordt beïnvloed door fouten in de boorgatdiameter, diepte boorgat of uitgangsgroundwaterstand maar dat de grootteorde hetzelfde blijft.

Voor het drainageadvies zijn berekeningen gedaan voor k-waarden van 0,04 m per dag (minimum), 0,16 m per dag (mediaan) en 0,46 m per dag (maximum).

Drainageadvies

Uitgangspunten voor het drainageadvies:

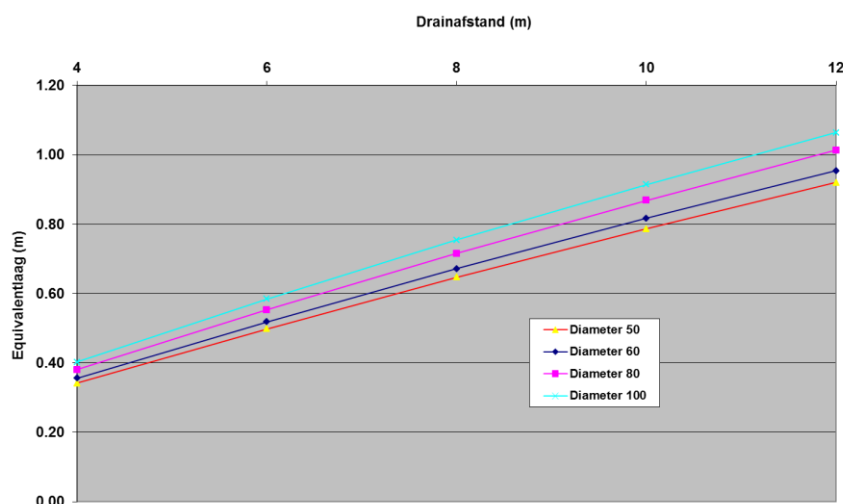
1. Profielopbouw. Voor het opstellen van het drainageadvies is uitgegaan van een gemiddeld profiel voor alle percelen:
 - a. 600 cm veen
 - b. zandondergrond
2. Uitholling grondwaterstand (m) max 10 cm.
3. Infiltratie om de verdamping te compenseren ter grootte van 3 m per dag gemiddeld over een decade uitgaande van een maximale verdamping van 5 m per dag.
4. Drains worden in de veenlaag gelegd met een dikte (**D**) = 6,0 m.
5. Doorlatendheid. In de formule van Hooghoudt wordt onderscheid gemaakt tussen de doorlatendheid boven (**k₁**) en onder drainniveau (**k₂**). Voor de berekening is uitgegaan dat deze gelijk zijn. Wel is gekeken wat het effect is van het verschil in mediane waarden tussen de 4 proefpercelen.

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

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

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

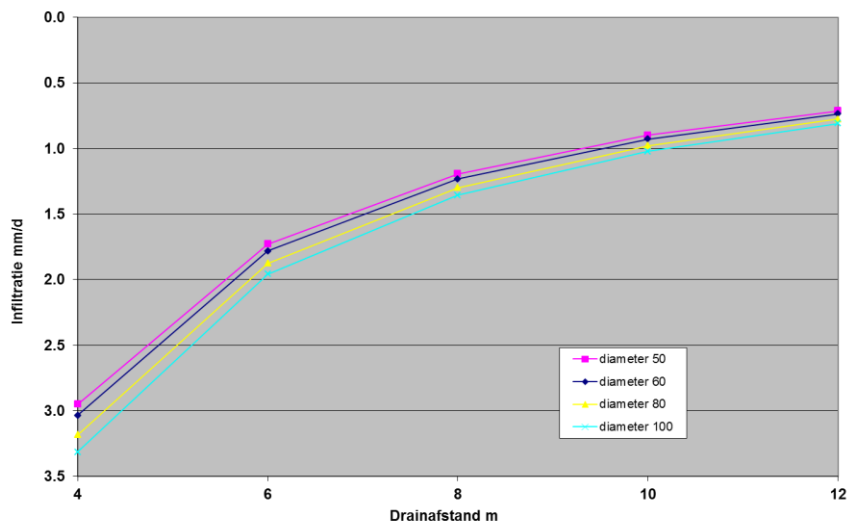
De dikte van de equivalente laag (**d**), waarmee de radiale weerstand in rekening wordt gebracht, in relatie tot de drainafstand en de draindiameter is weergegeven in Figuur 14. De dikte van de equivalente laag varieert tussen de 0,4 en 1,0 m voor diameters (**2r**) van 50, 60, 80 en 100 mm en voor drainafstanden (**L**) variërend van 4-12 m.



Figuur 14 Dikte equivalente laag (m) in relatie tot de drainafstand en draindiameter.

Geringe k-waarde van 0,04 m per dag

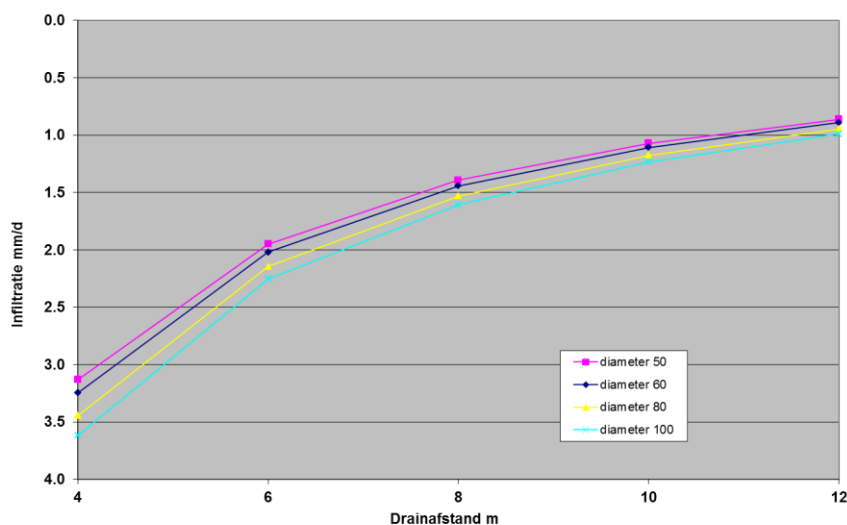
Bij een uitholling van 0,1 m is de infiltratie kleiner dan 1 m per dag, bij een grotere uitholling van 0,2 m zal de infiltratie toenemen naar 1,8-2,0 m per dag. Bij een uitholling van 0,3 m en een drainafstand van 4 m kan er 3-3.3 m per dag kunnen infiltreren. De infiltratie in m per dag in relatie tot de drainafstand en draindiameter bij k=0,04 m per dag en een uitholling van 0,3 m is weergegeven in Figuur 15.



Figuur 15 Infiltratie in m per dag in relatie tot de drainafstand en draindiameter bij $k=0,04$ m per dag bij een uitholling van 0,3 m.

Mediane k -waarde van 0,16 m per dag

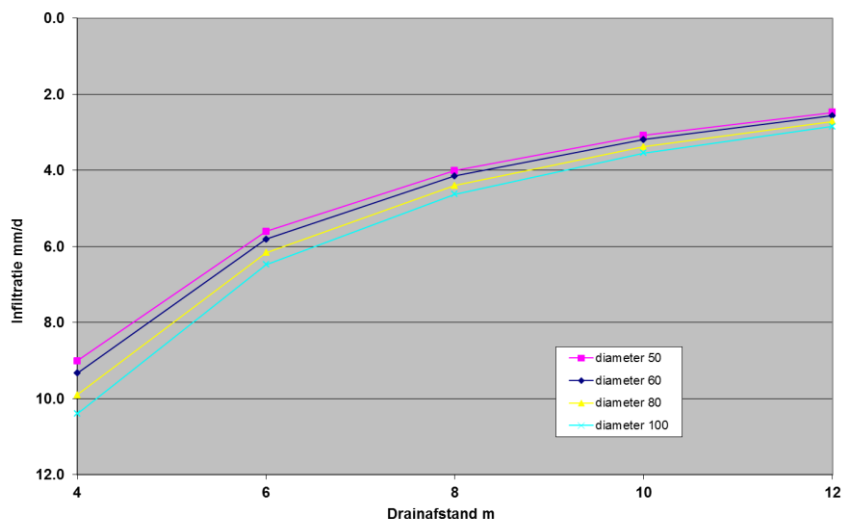
Bij een uitholling van 0,1 m is de infiltratie 3.1 tot 3.6 m per dag bij een drainafstand van 4 m, bij een drainafstand van 6 m bedraagt de infiltratie 2- 2.3 m per dag. Bij een iets grotere uitholling van 0,15 m bedraagt de infiltratie bij een drainafstand van 6 m 3.0-3.5 m per dag. De infiltratie in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



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

Maximale k -waarde van 0,46 m per dag

Bij een uitholling van 0,1 m is de infiltratie ruim groter dan 3 m per dag bij een drainafstand van 6 m. De infiltratie in mm/d in relatie tot de drainafstand en draindiameter bij $k=0,46$ m per dag staat in Figuur 17.



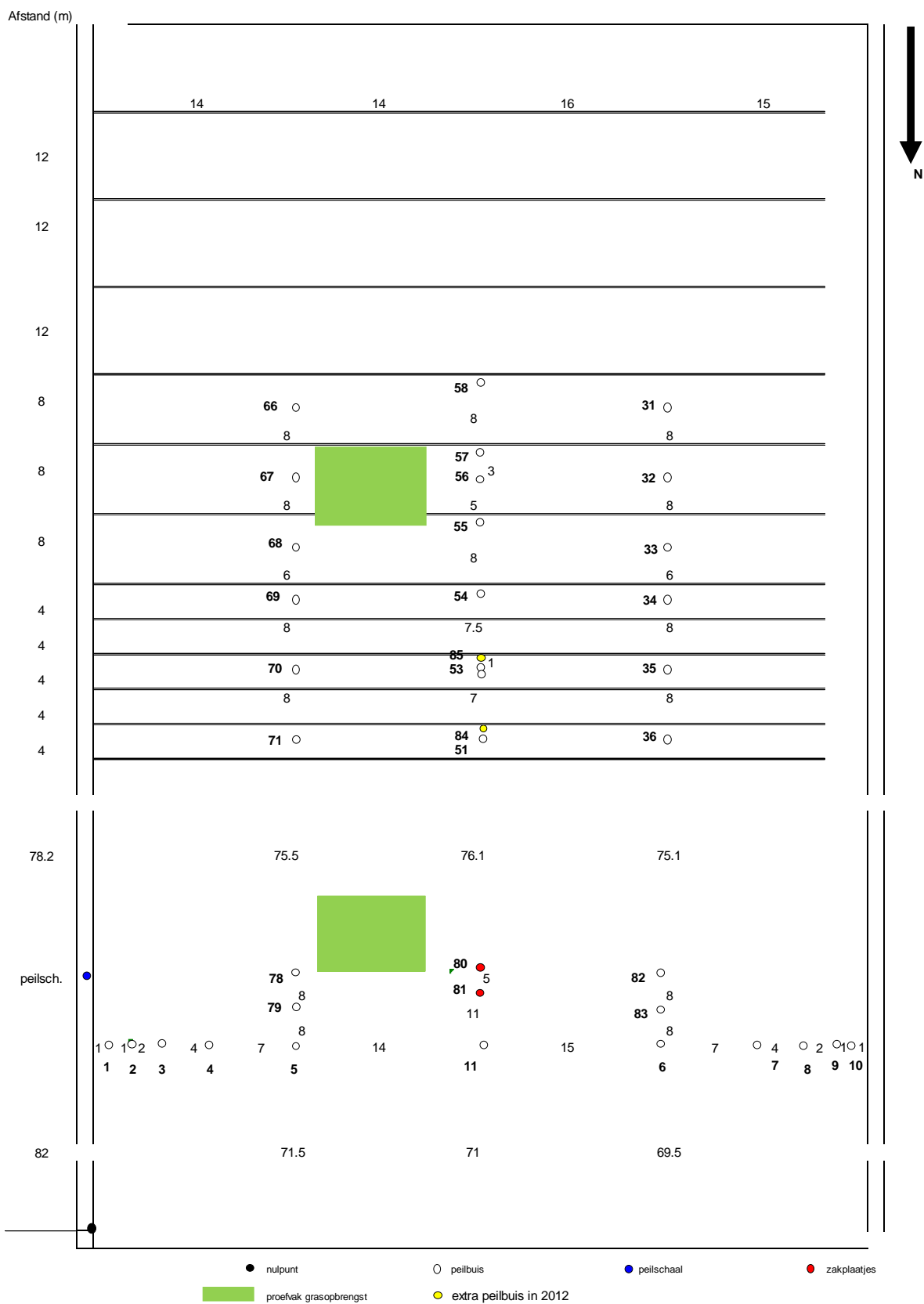
Figuur 17 Infiltratie in m per dag in relatie tot de drainafstand en draindiameter bij $k=0,46$ m per dag.

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

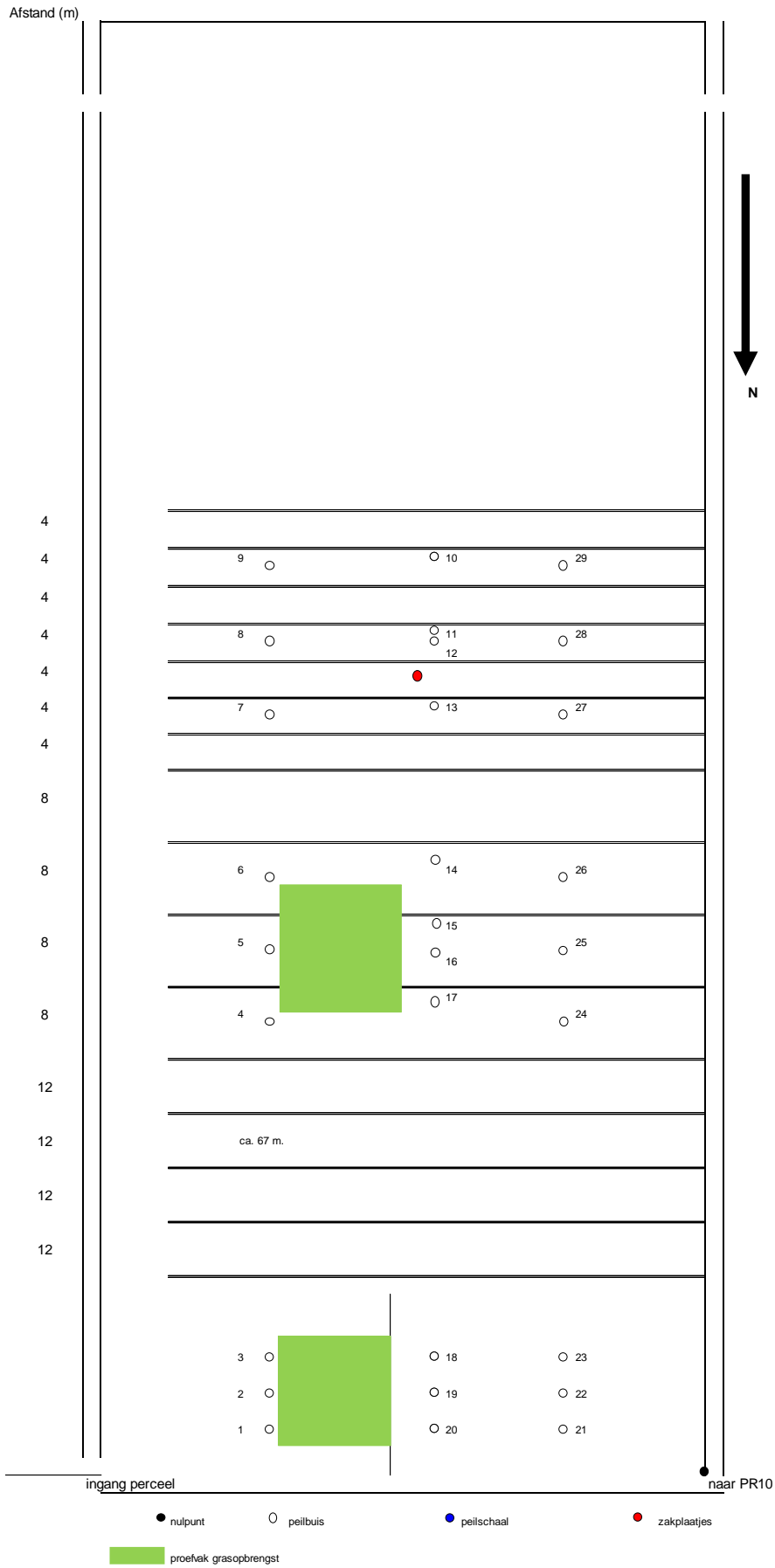
Samengevat zijn de resultaten als volgt:

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

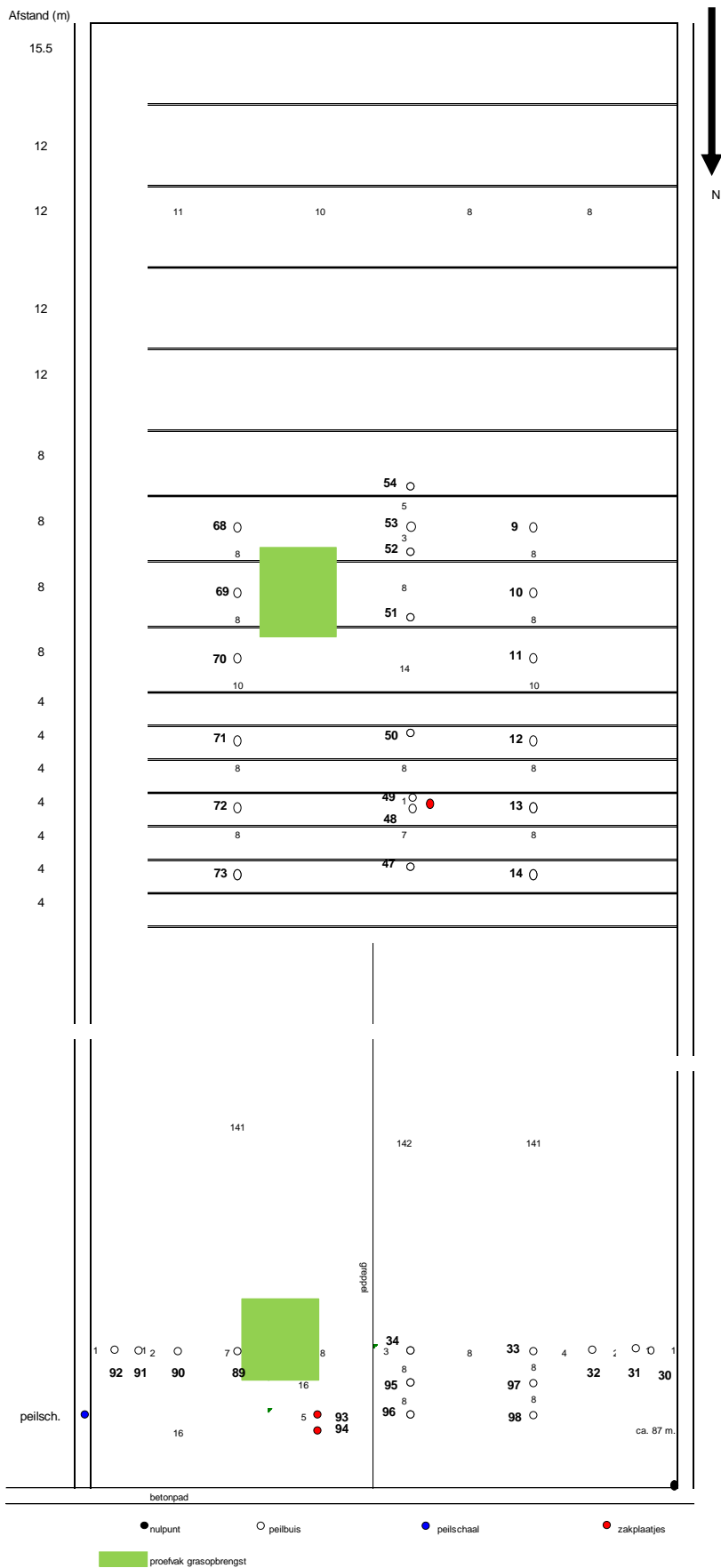
Perceel 3



Figuur 19 Schematische plattegrond perceel 3 locatie Zegveld (2004-2007 en 2008-2015).



Figuur 20 Schematische plattegrond perceel 11 locatie Zegveld (2004-2007 en 2008-2015).



Figuur 21 Schematische plattegrond perceel 13 locatie Zegveld (2004-2007 en 2008-2015).

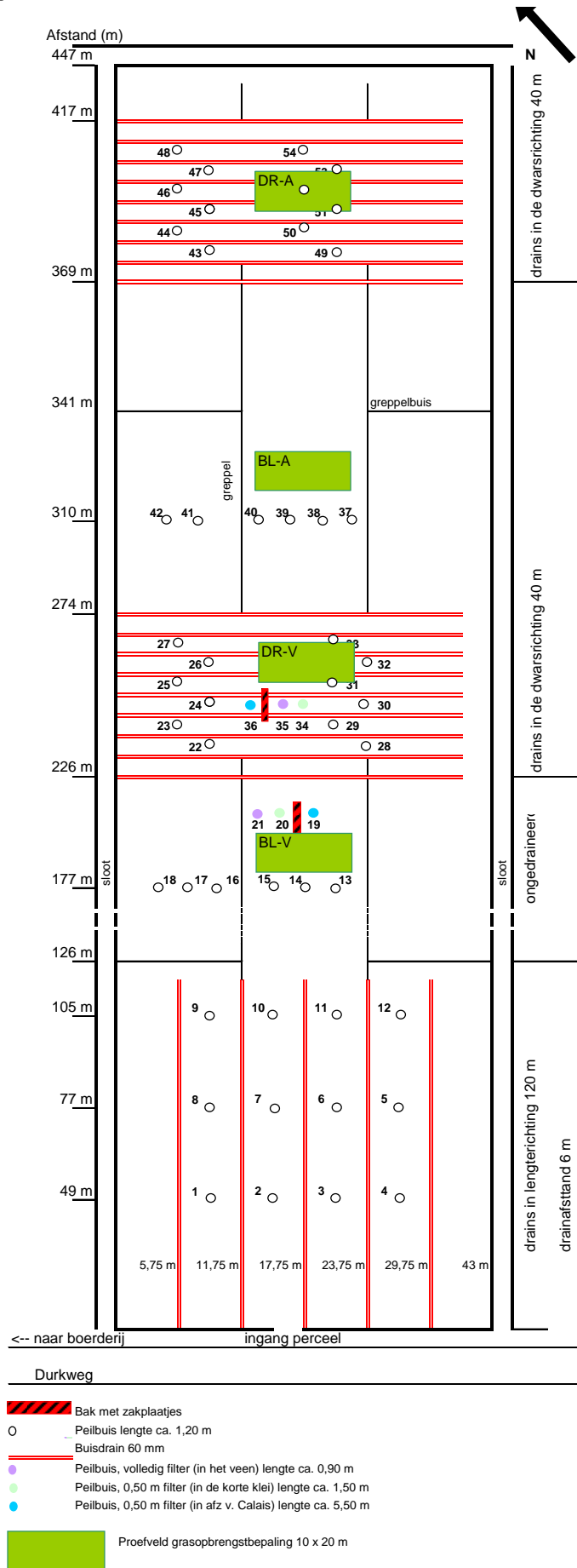
Hobrede

Perceel 9



Figuur 22 Schematische plattegrond perceel 9 locatie Hobrede (2007-2010).

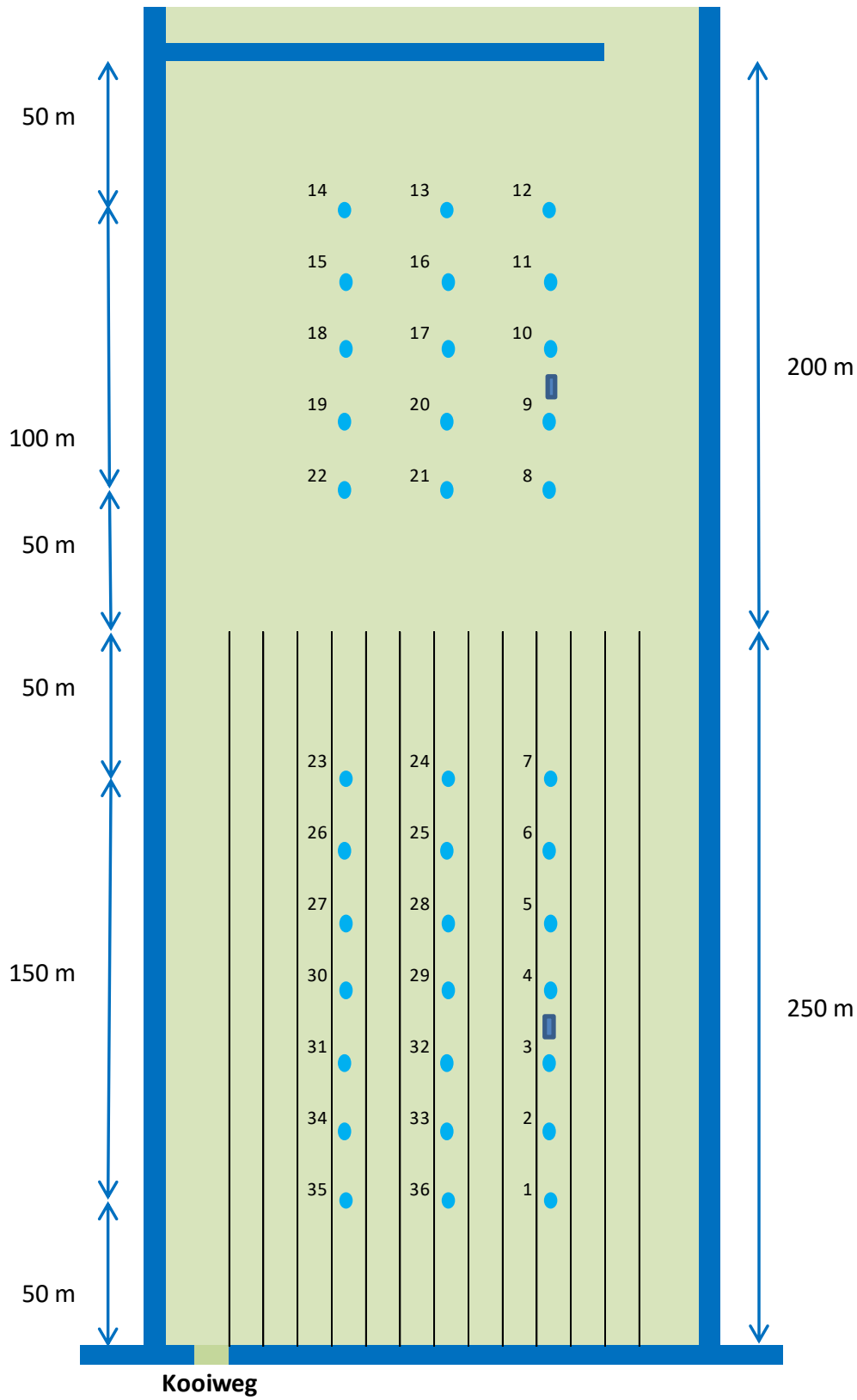
Kwadijk



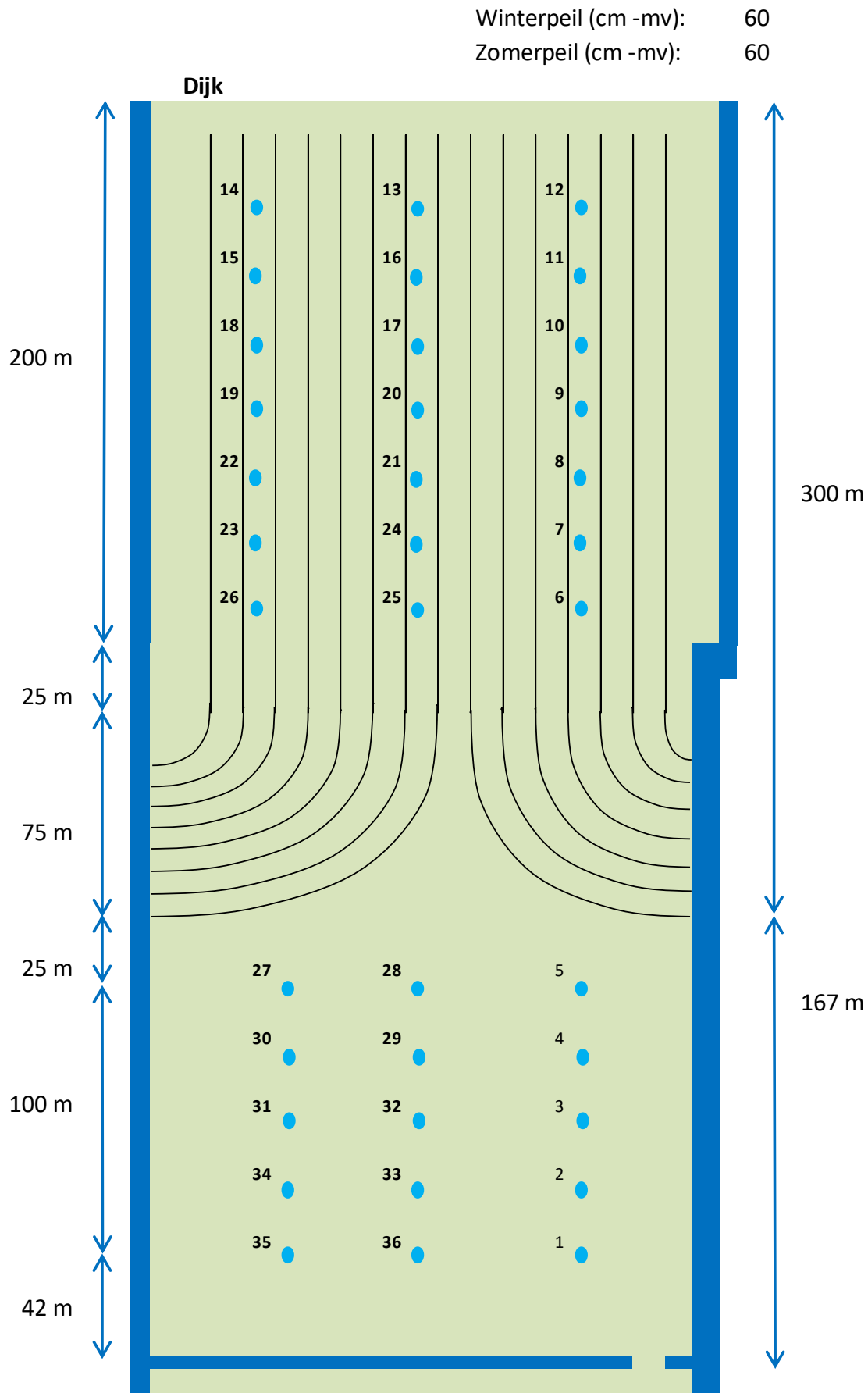
Figuur 23 Schematische plattegrond perceel 3 locatie Kwadijk (2007-2010).

Warder

Winterpeil (cm -mv): 60
Zomerpeil (cm -mv): 60

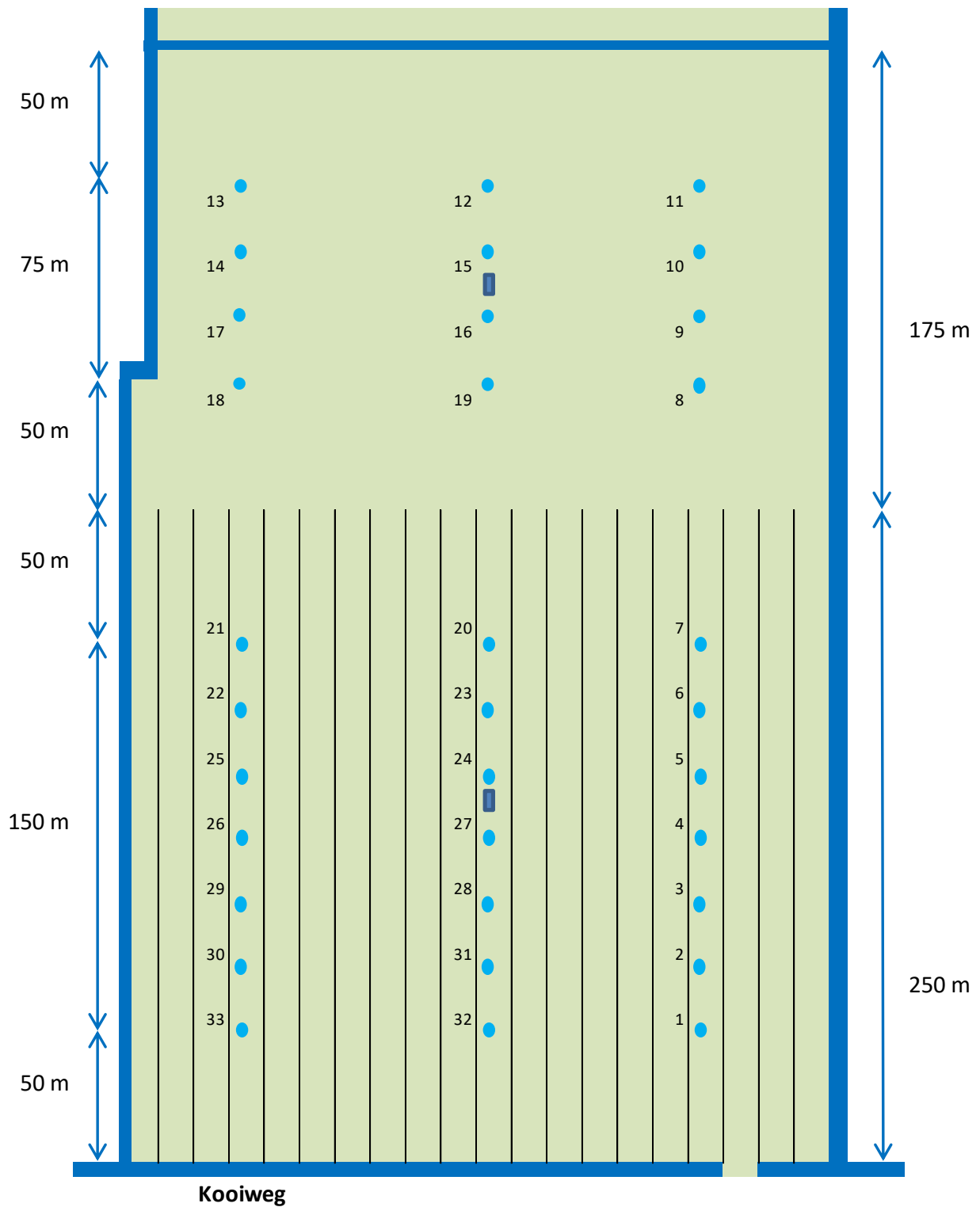


Figuur 24 Schematische plattegrond perceel 12 locatie Warder (2012-2014).

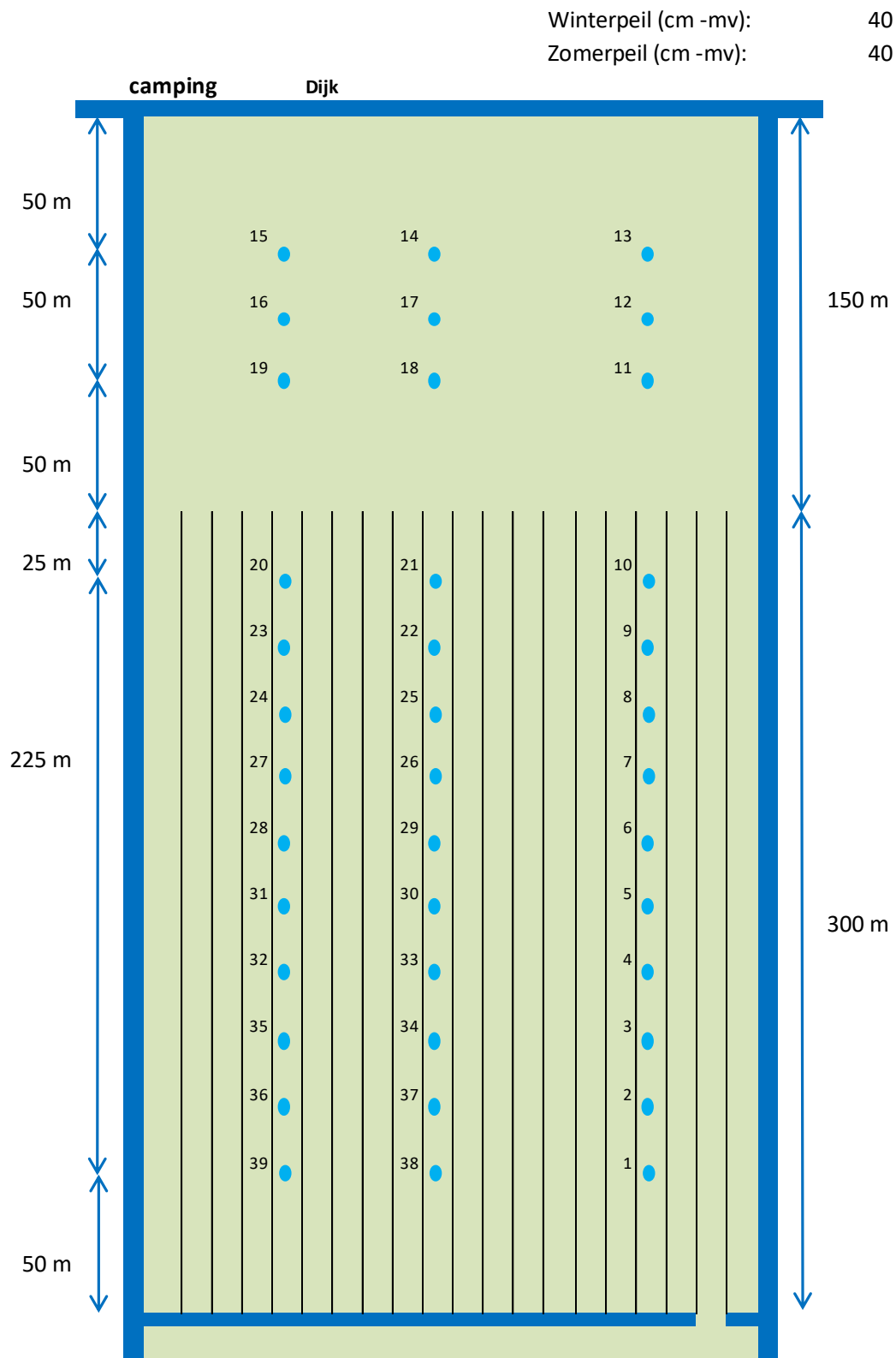


Figuur 25 Schematische plattegrond perceel 13 locatie Warder (2012-2014).

Winterpeil (cm -mv): 40
 Zomerpeil (cm -mv): 40

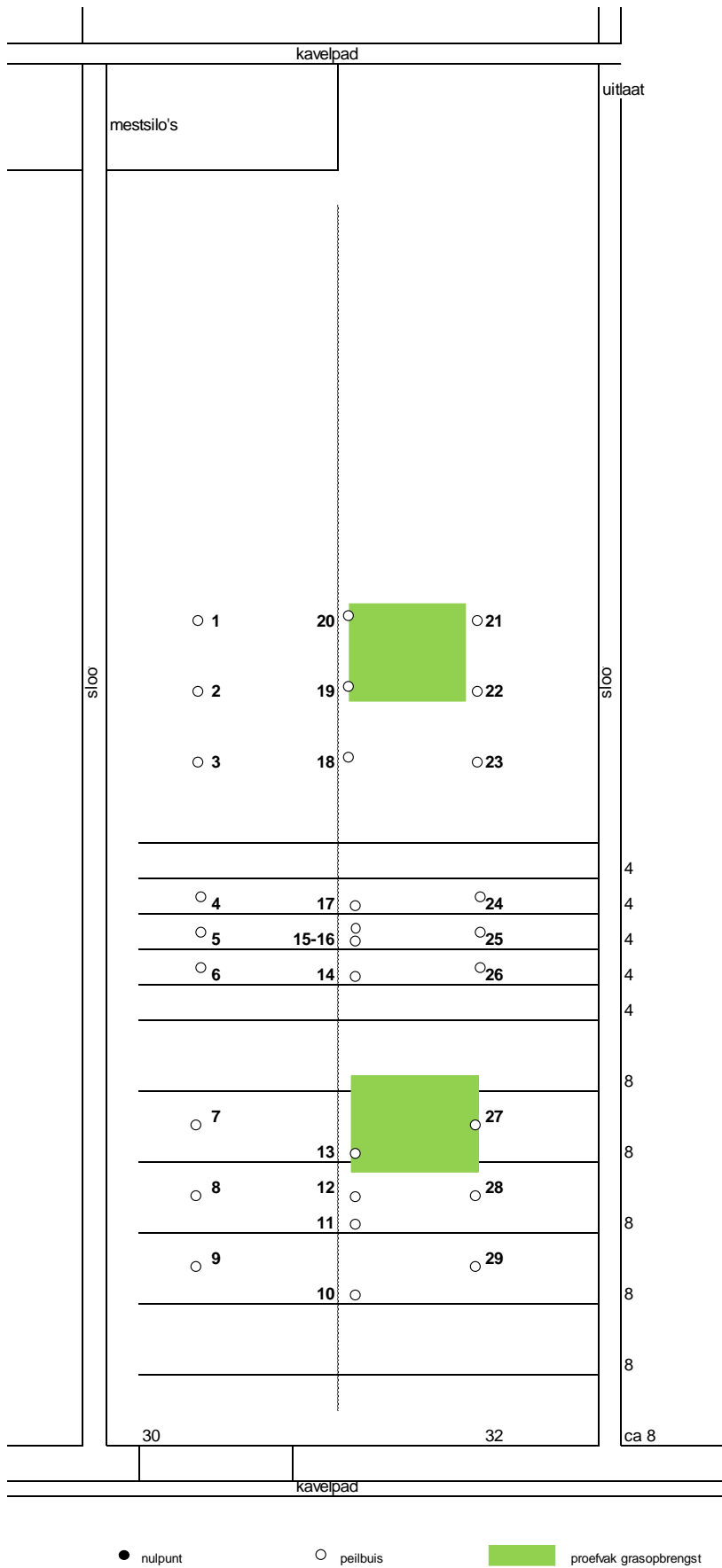


Figuur 26 Schematische plattegrond perceel 21 locatie Wardeer (2012-2014).

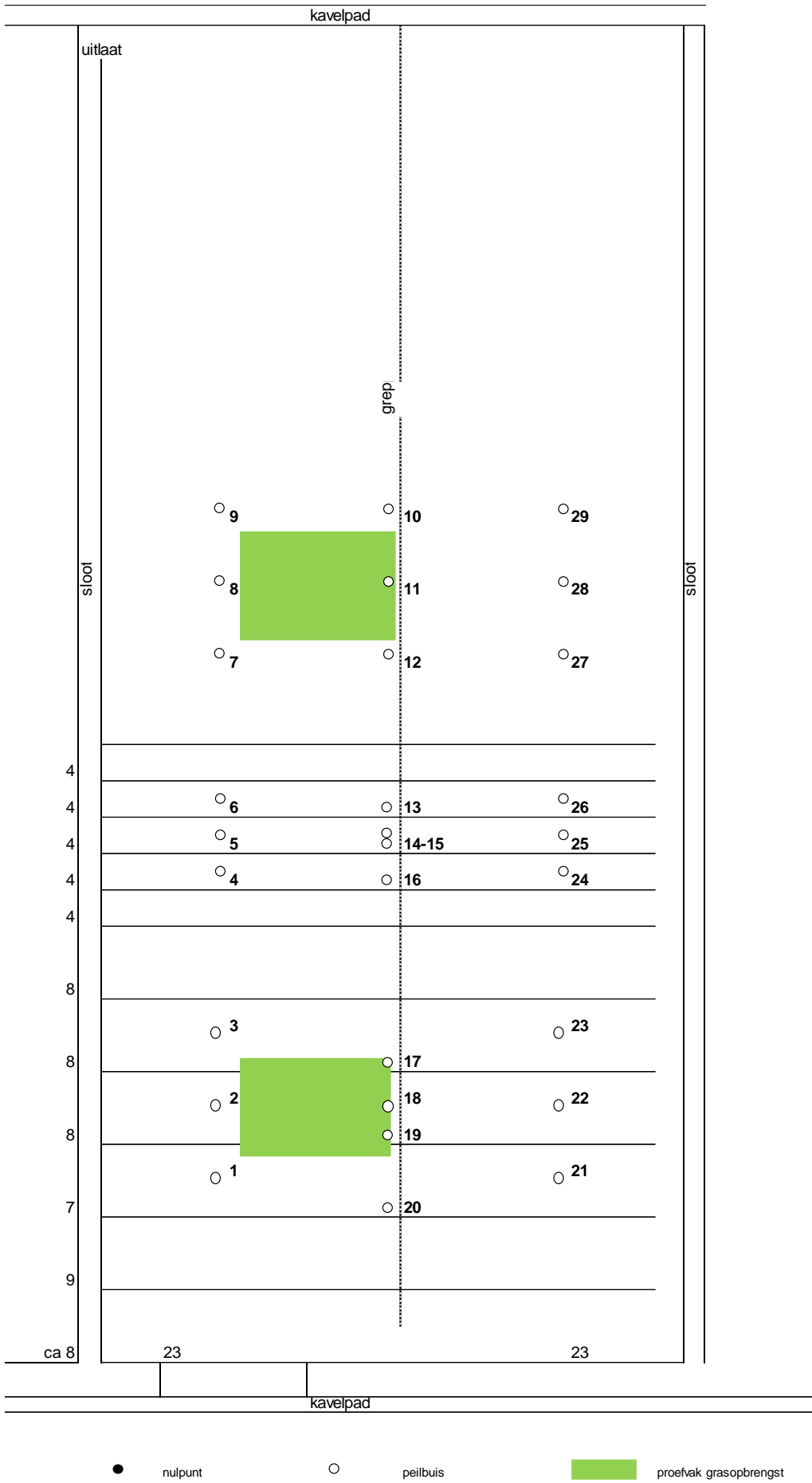


Figuur 27 Schematische plattegrond perceel 22 locatie Warder (2012-2014).

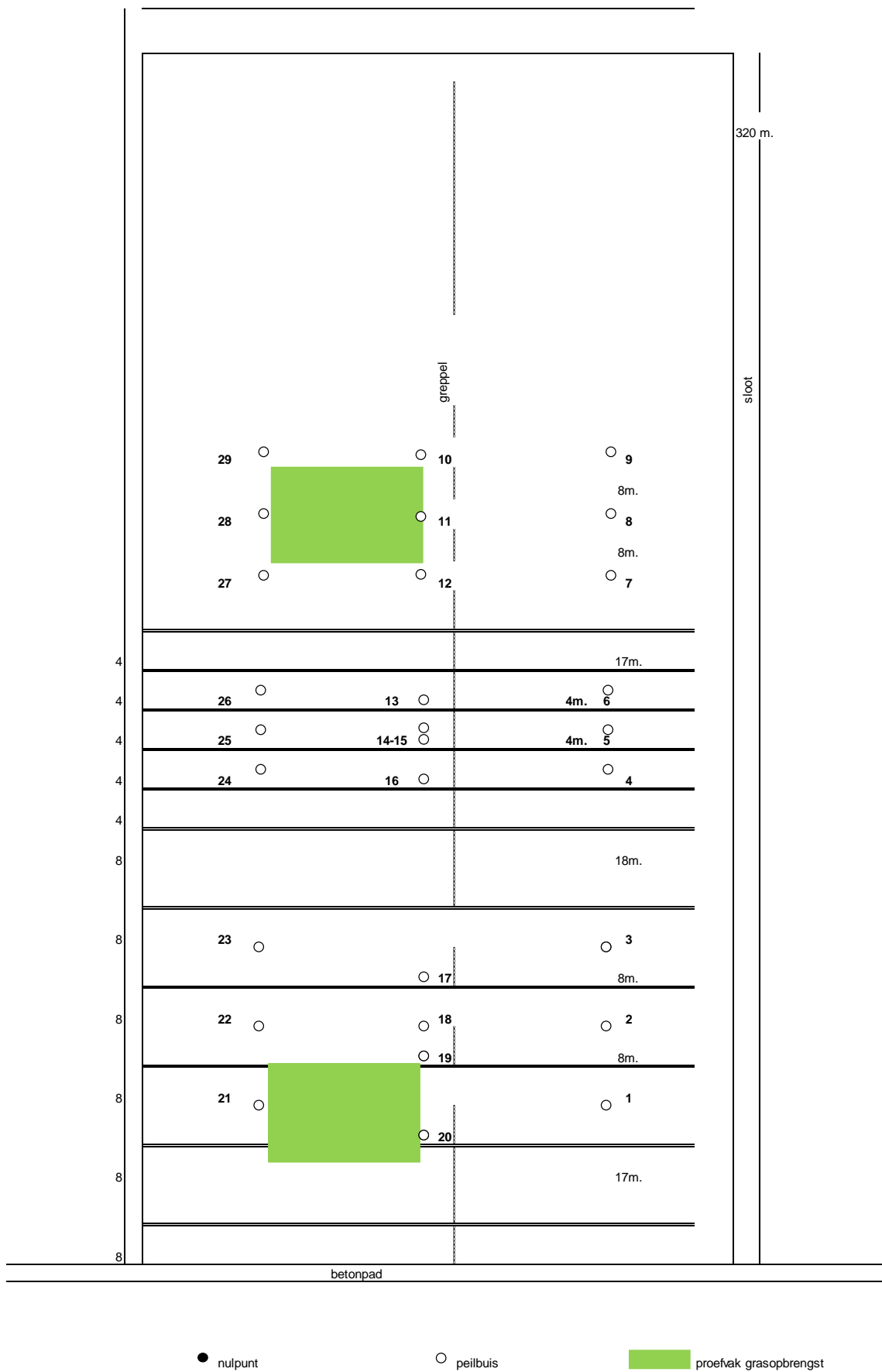
Zegveld Dynamische slootpeilbeheer (2011-2016)



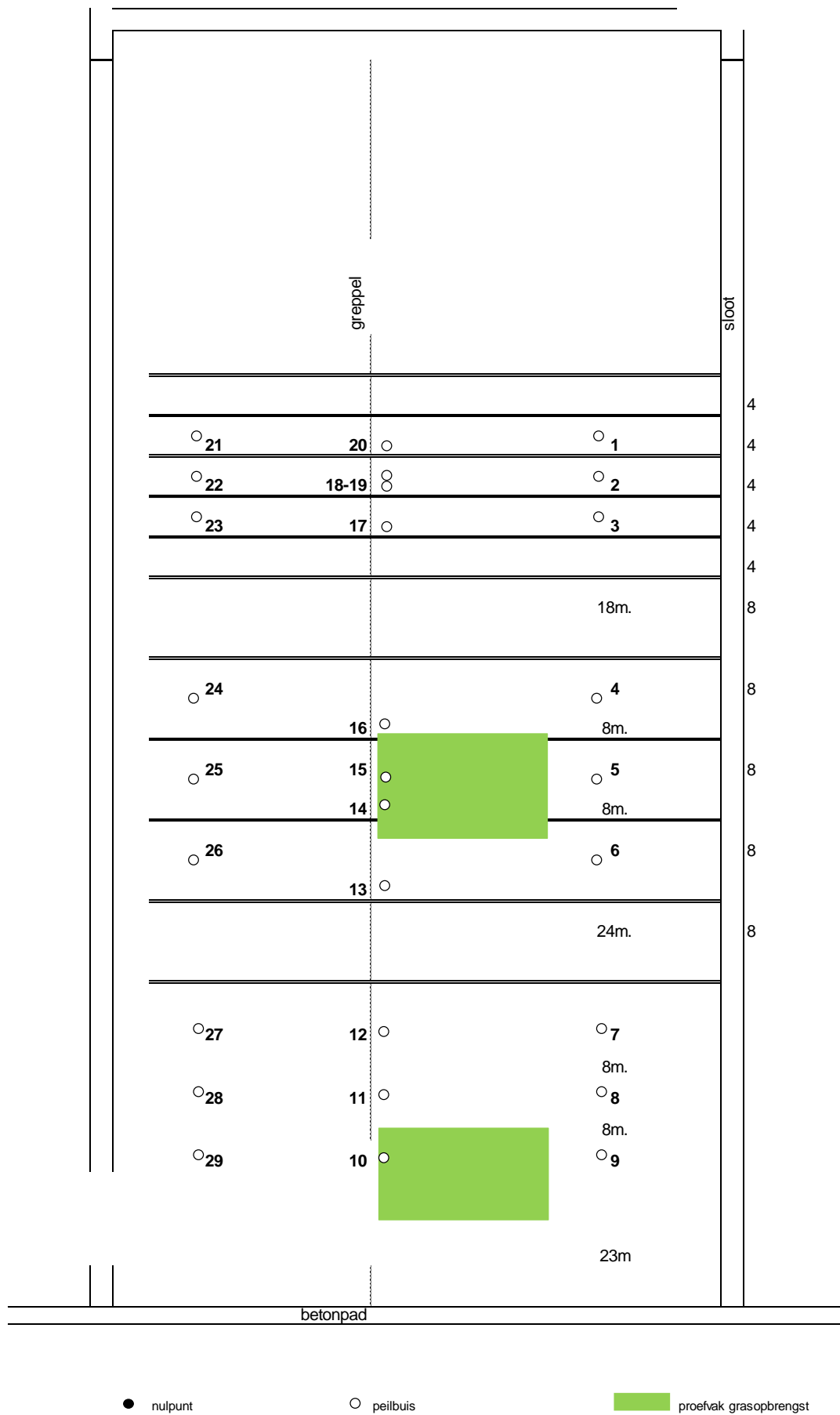
Figuur 28 Schematische plattegrond perceel 7b locatie Zegveld (2011-2016).



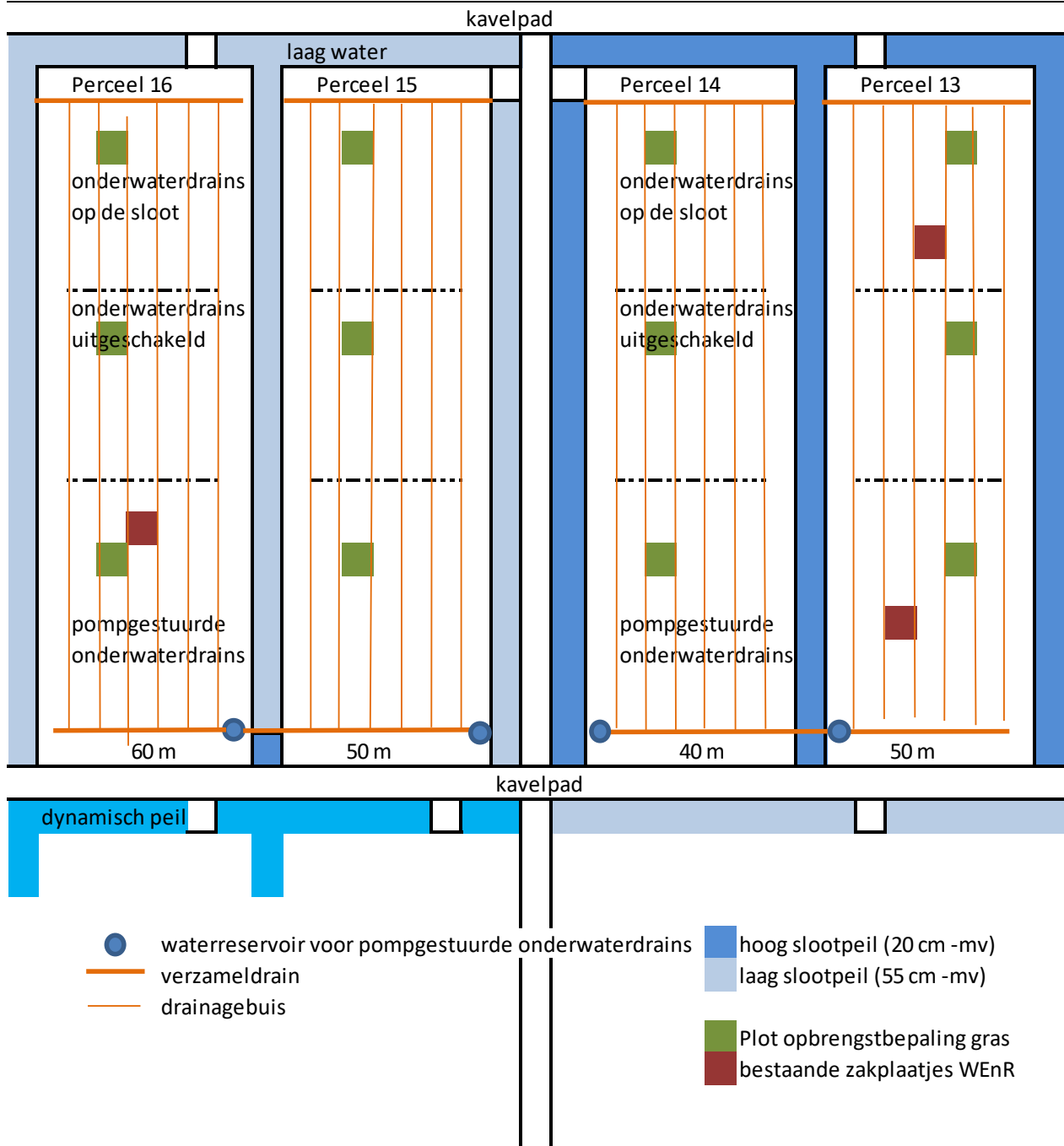
Figuur 29 Schematische plattegrond perceel 8b locatie Zegveld (2011-2016).



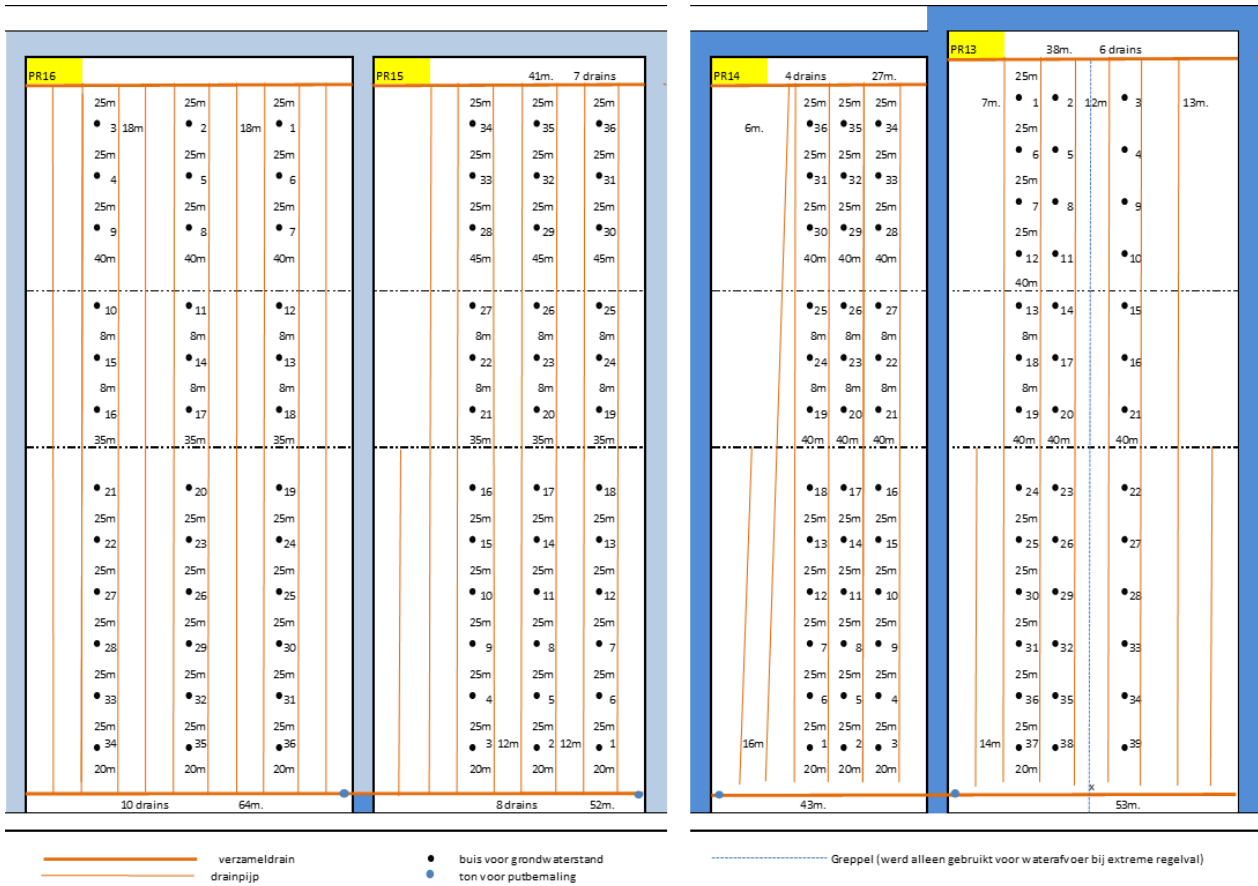
Figuur 30 Schematische plattegrond perceel Vo2 locatie Zegveld (2011-2013).



Figuur 31 Schematische plattegrond perceel Zw1 locatie Zegveld (2011-2013).



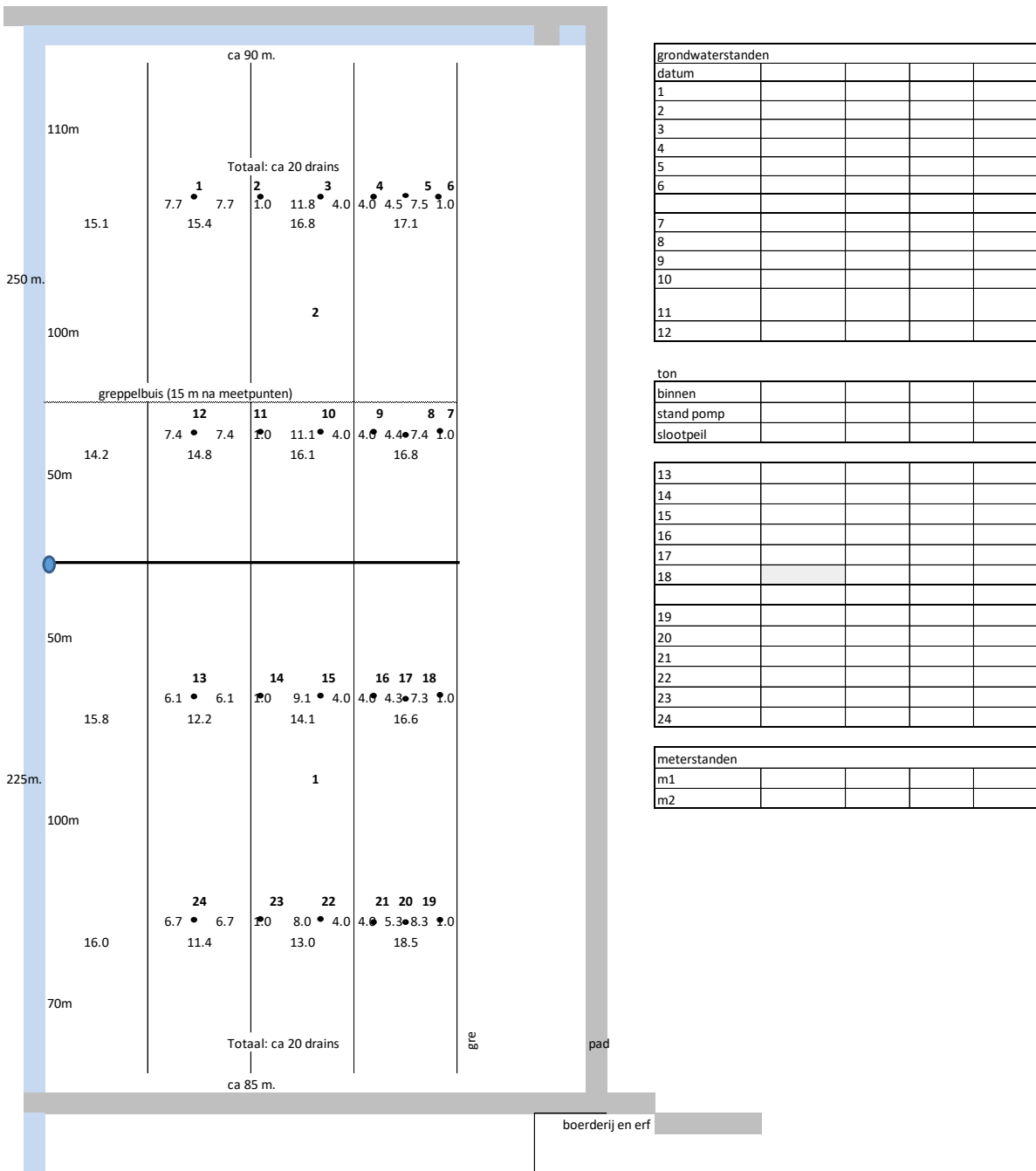
Figuur 32 Schematische schets inrichting proefpercelen (13–16) met de behandelingen (1) Geen onderwaterdrains, (2) onderwaterdrains op de sloot en (4) drukdrains bij een hoog en een laag slootpeil van respectievelijk 20 en 55 cm beneden maaiveld.



Figuur 33 Schematisch overzicht van de peilbuizen voor het meten van de grondwaterstand per proefperceel (13-16) met de tussenafstand tussen de peilbuizen (lengterichting) en de meetraaien (perceelbreedte).

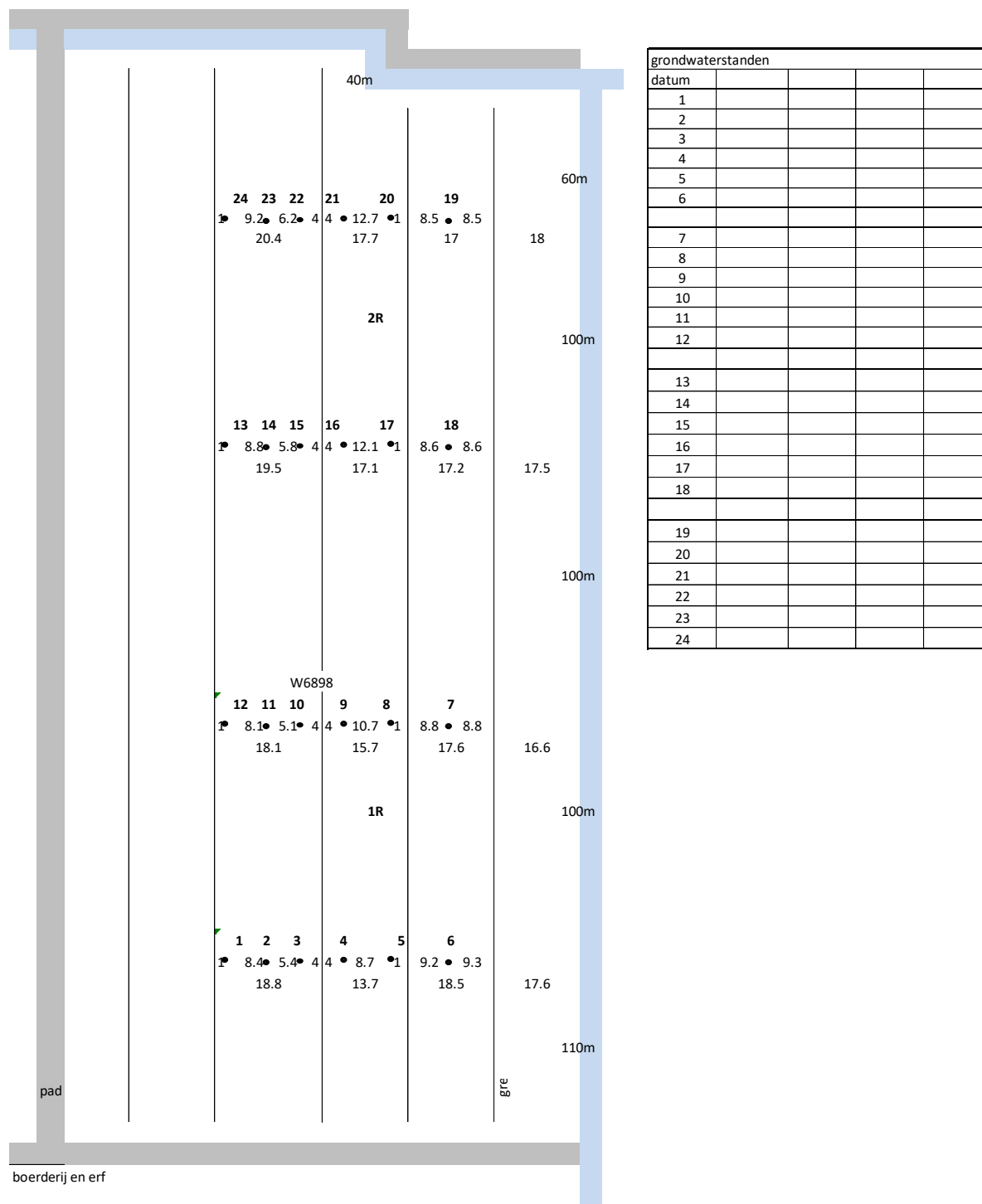
Assendelft (2018-2021)

Huiskavel-voor, gedraineerd

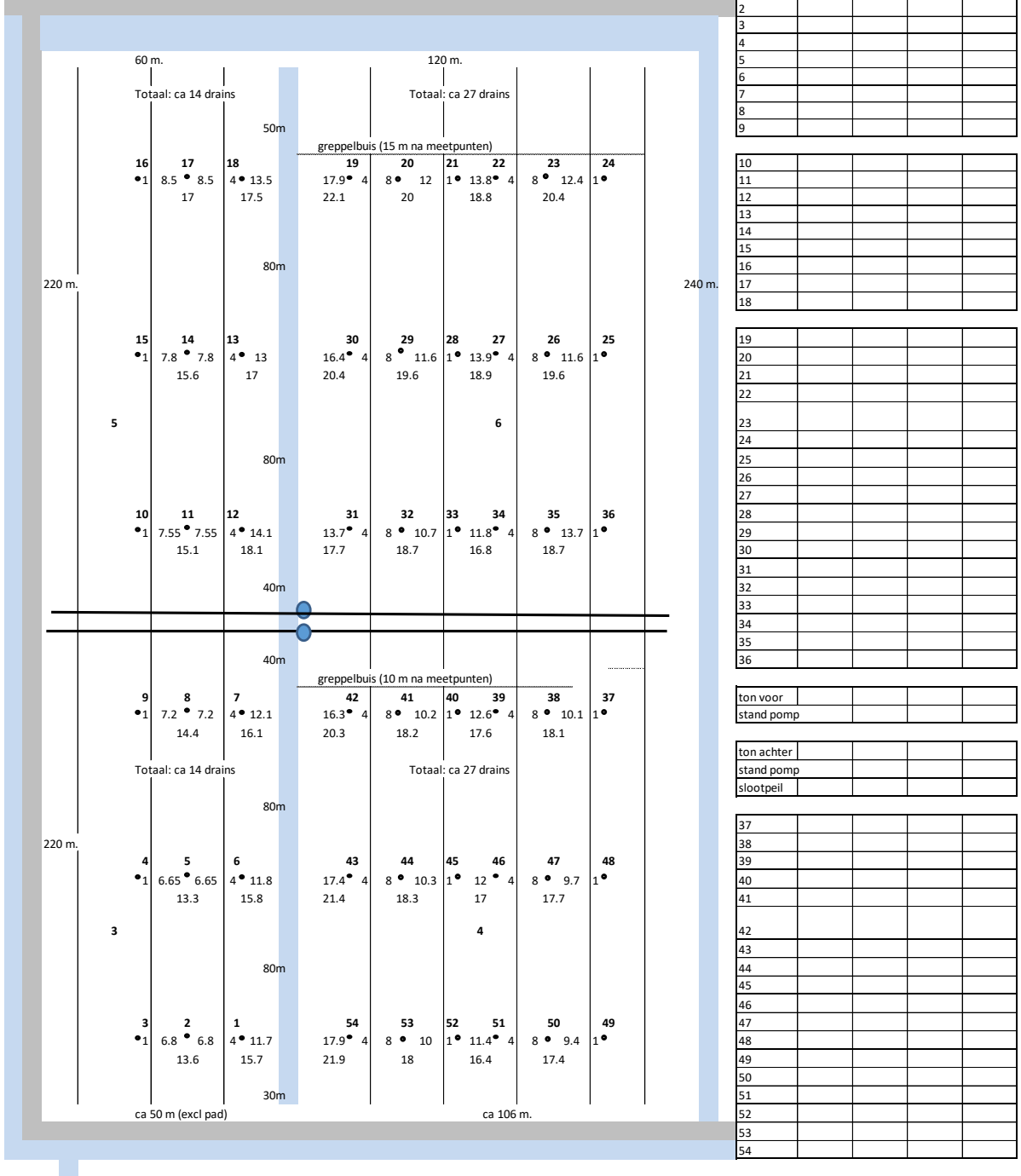


Figuur 34 Schematische plattegrond perceel 1 en 2 met de plaatsing van peilbuizen (genummerde zwarte stippen) en waterreservoir (blauwe cirkel) locatie Assendelft (2018-2021).

Huiskavel-voor, referentie

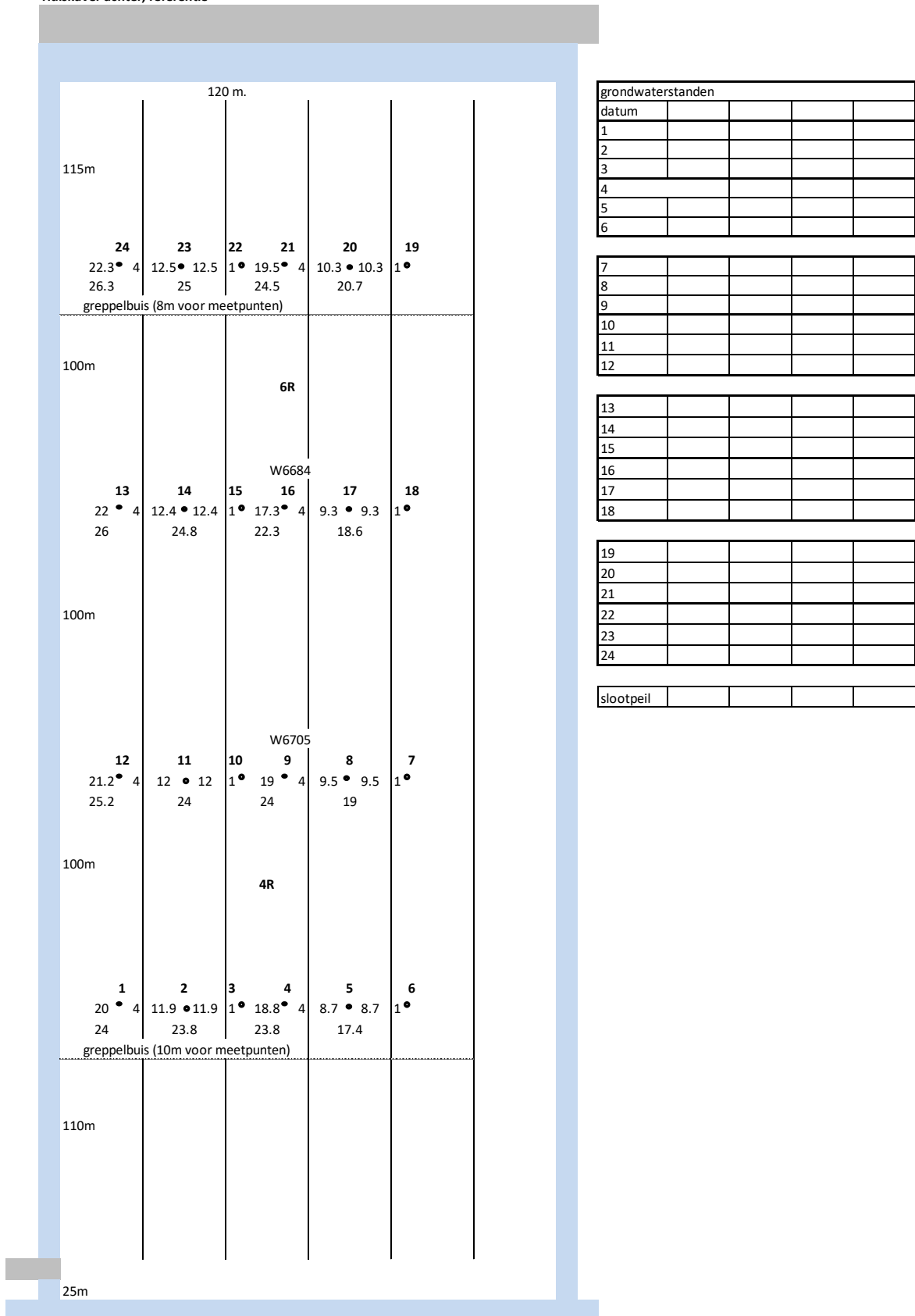


Figuur 35 Schematische plattegrond perceel 1R en 2R (referentie) met de plaatsing van peilbuizen locatie Assendelft (2018-2021).



Figuur 36 Schematische plattegrond perceel 3-6 met de plaatsing van peilbuizen (genummerde zwarte stippen) en waterreservoirs (blauwe cirkels) locatie Assendelft (2018-2021). Het bovenste waterreservoir bediende perceel 6 (rechtsboven) en de het onderste waterreservoir bediende perceel 3-5.

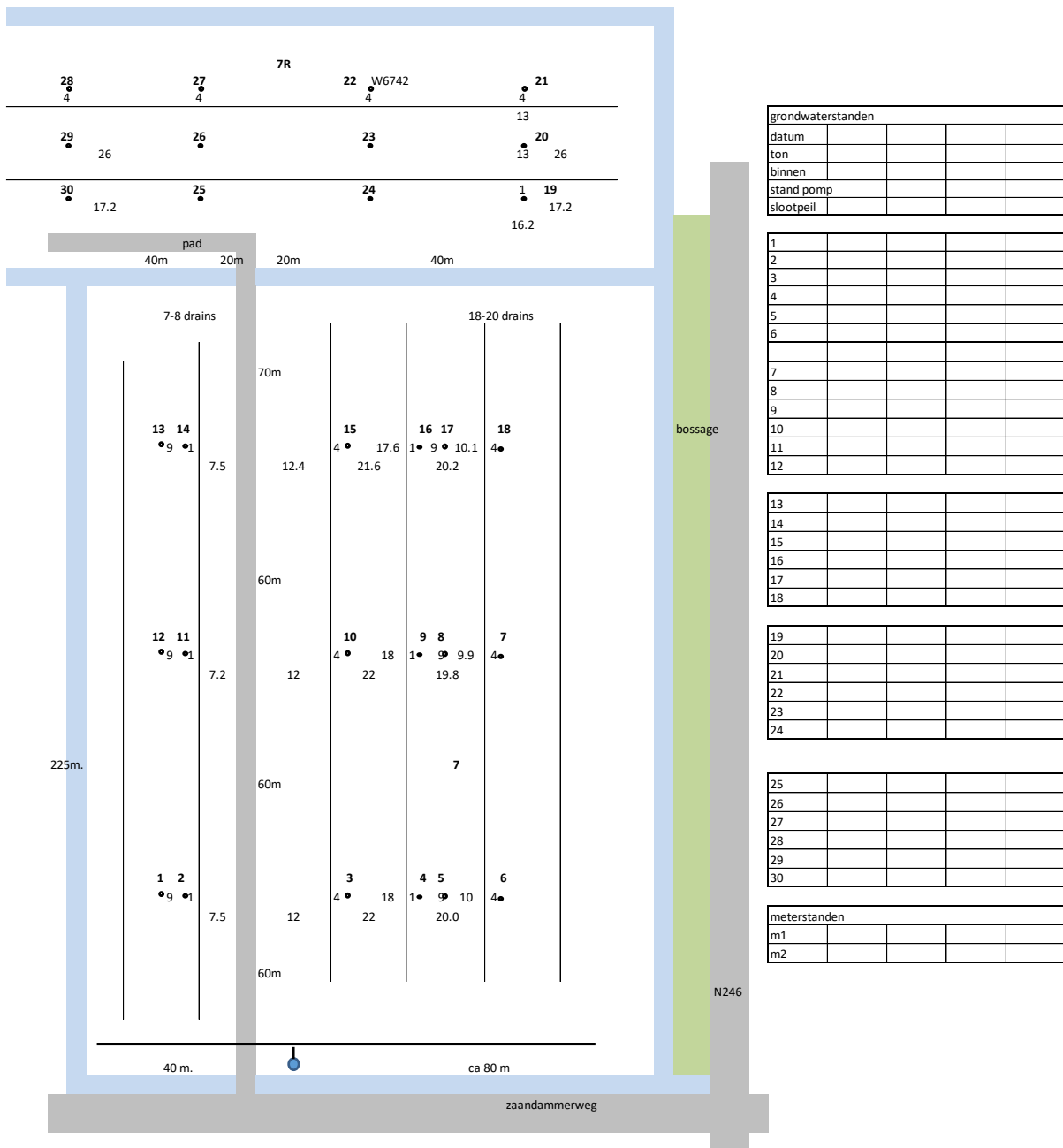
Huiskavel-achter, referentie



Figuur 37 Schematische plattegrond perceel 4R en 6R (referentie) met de plaatsing van peilbuizen locatie Assendelft (2018-2021).

Nauerna (2018-2021)

Veldkavel-achter, niet gedraineerd
 Veldkavel-voor, gedraineerd



Figuur 38 Schematische plattegrond perceel 7 met de plaatsing van peilbuizen (genummerde zwarte stippen) en waterreservoir (blauwe cirkel) locatie Naurerna (2018-2021).

Bijlage 4 Maaiveldhoogte

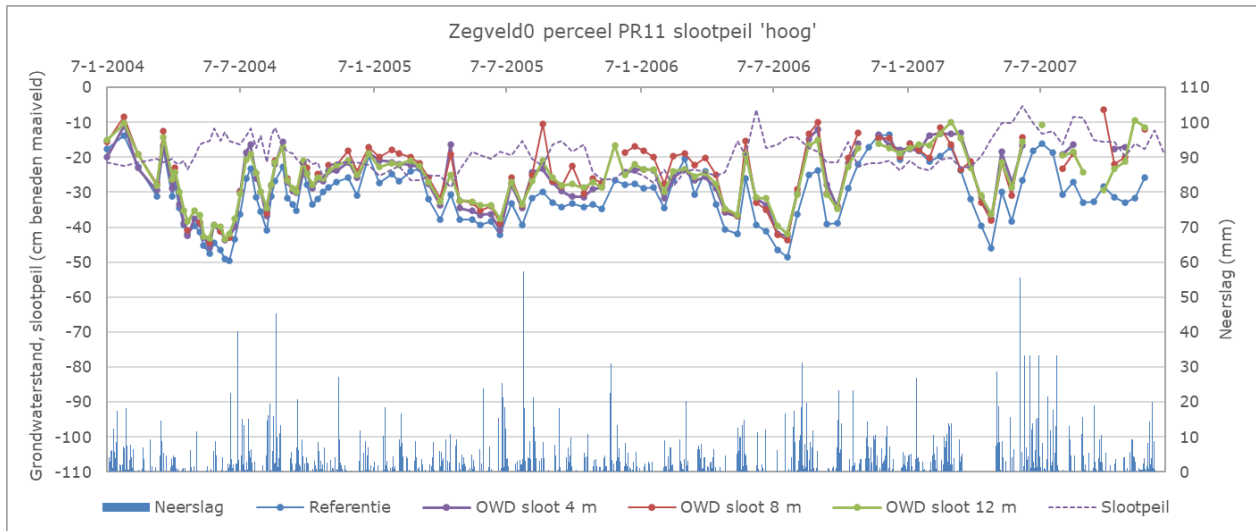
Drukdrains en onderwaterdrains

Tabel 2 Maaiveldhoogte per behandeling per proefperceel ten opzichte van NAP (cm) locatie Zegveld (2016-2021).

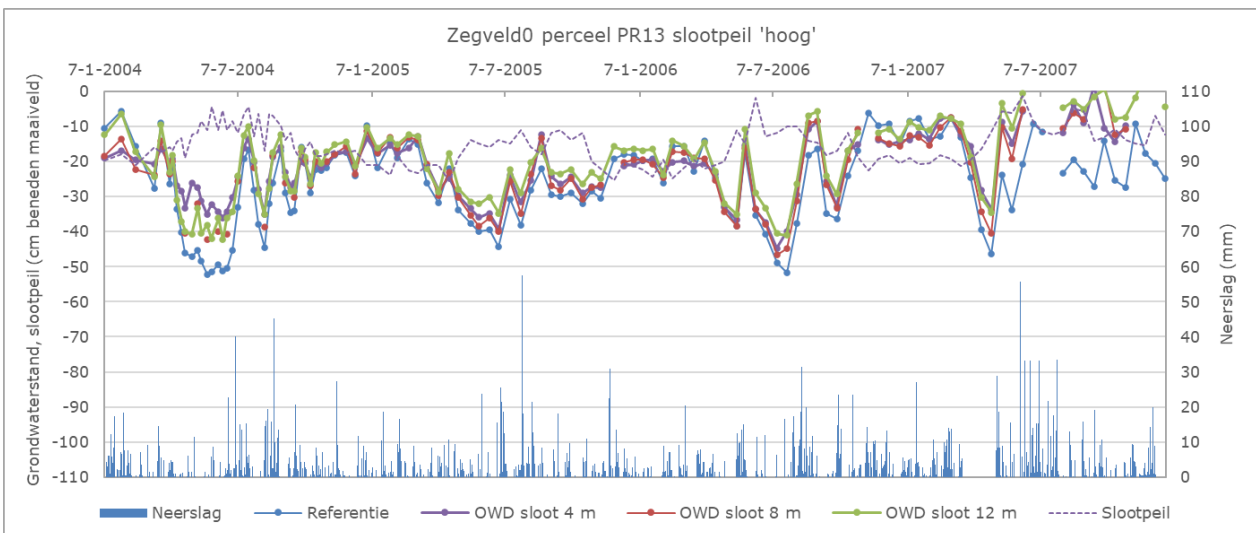
PERCEEL	Jaren	Meeting	Referentie	OWD-pomp	OWD-sloot
13	2017	Najaar	-255	-253	-251
	2019	Voorjaar	-234	-237	-229
	2020	Voorjaar	-242	-229	-237
14	2017	Najaar	-250	-254	-257
	2019	Voorjaar	-234	-239	-235
	2020	Voorjaar	-241	-247	-243
15	2017	Najaar	-249	-250	-249
	2019	Voorjaar	-255	-253	-254
	2020	Voorjaar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

Bijlage 5 Grondwaterstanden per perceel

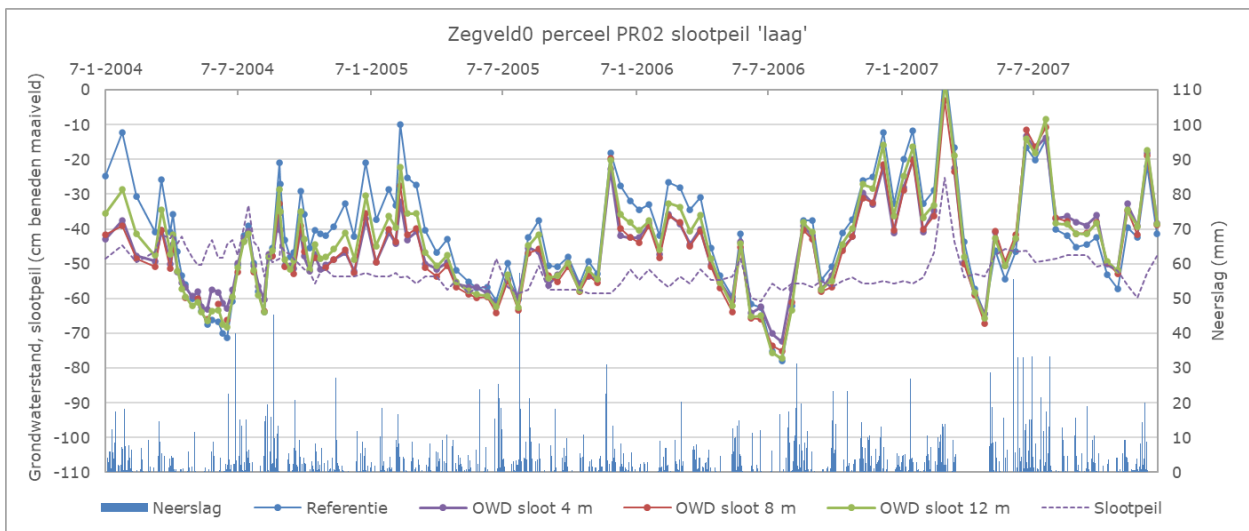
Onderwaterdrains met vaste slootpeilen



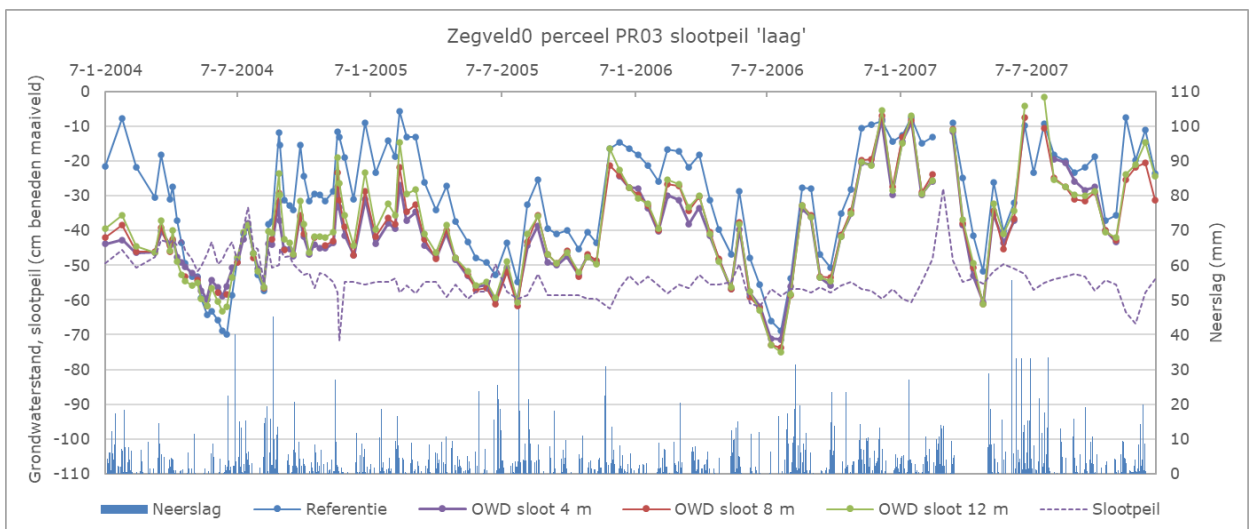
Figuur 39 Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4, 8 en 12 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij een hoog slootpeil voor perceel 11 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2004-2007).



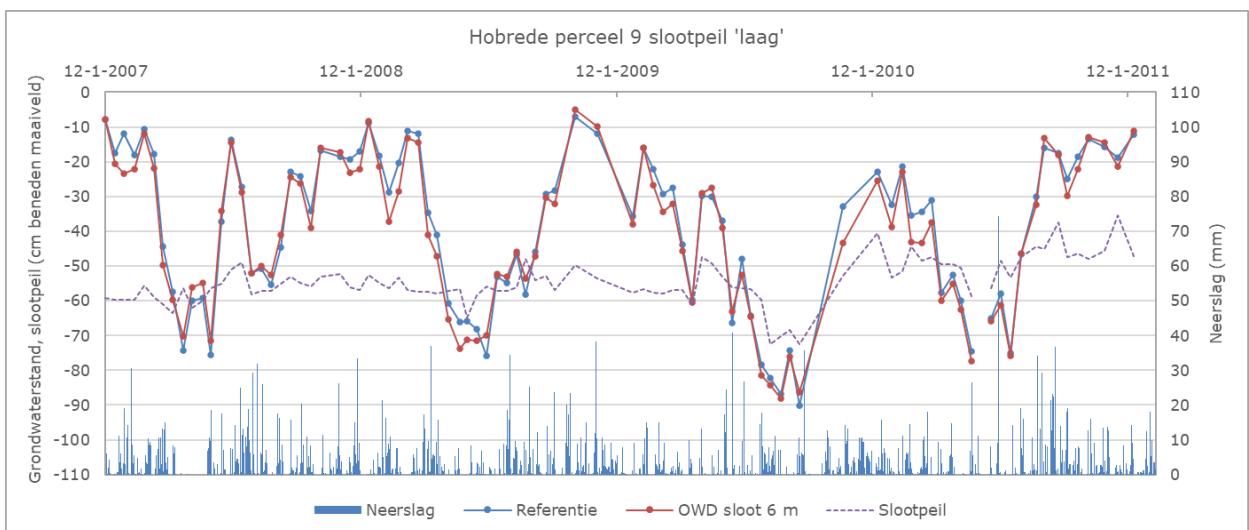
Figuur 40 Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4, 8 en 12 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij een hoog slootpeil voor perceel 13 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2004-2007).



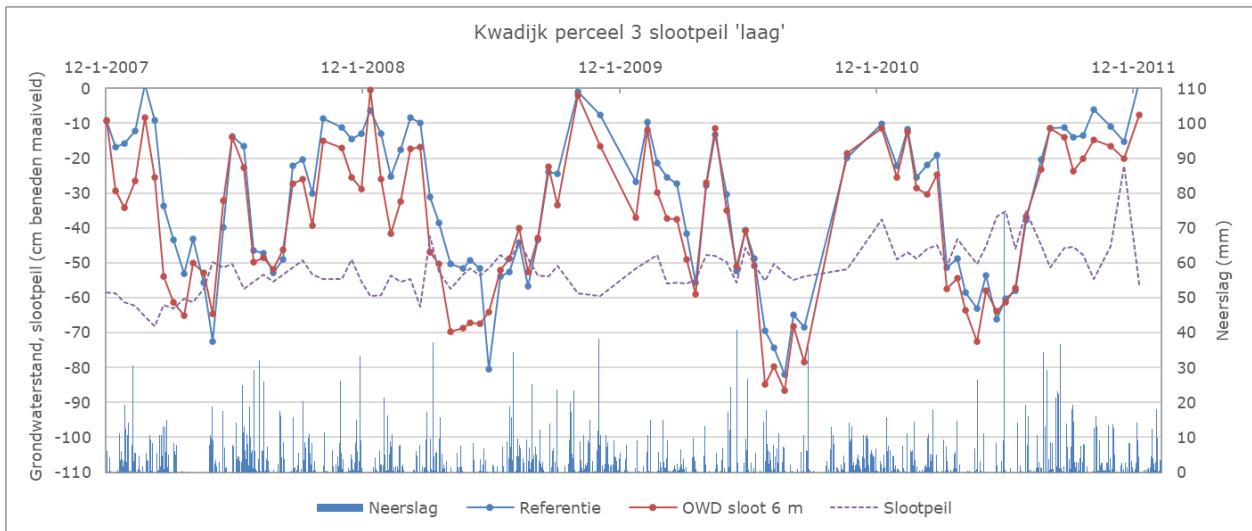
Figuur 41 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4, 8 en 12 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij een laag slootpeil voor perceel 2 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2004-2007).*



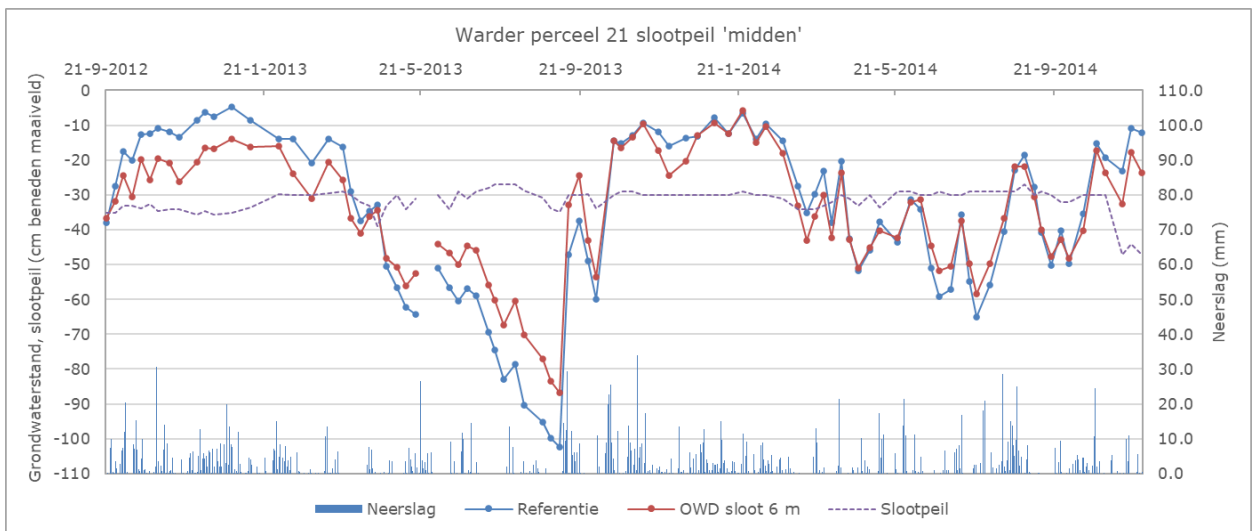
Figuur 42 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4, 8 en 12 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij een laag slootpeil voor perceel 3 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2004-2007).*



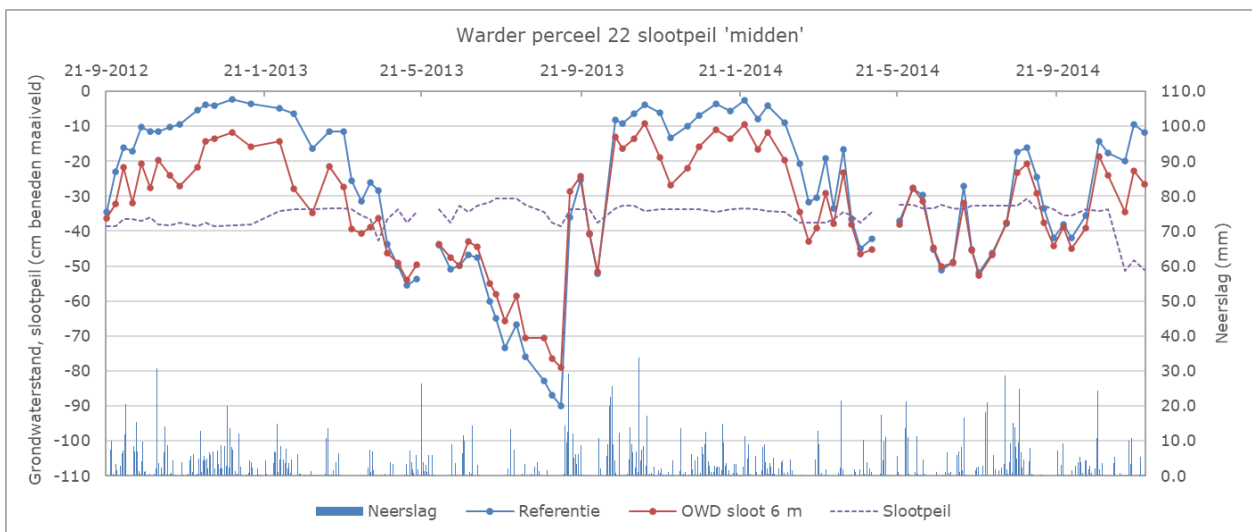
Figuur 43 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 6 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij een laag slootpeil voor perceel 1 en neerslag van proeflocatie Hobrede (2007-2011).*



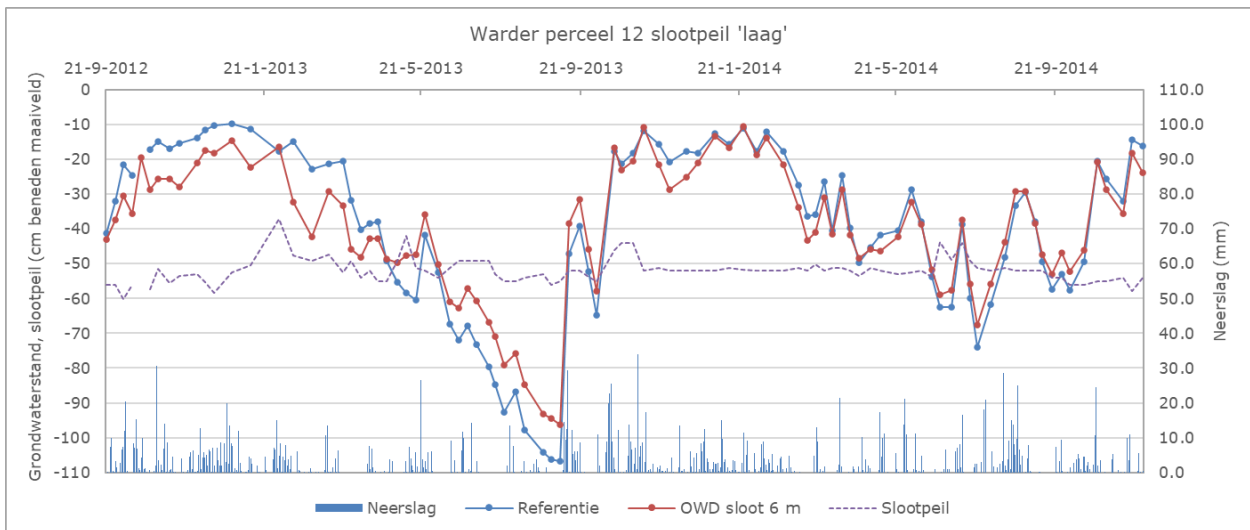
Figuur 44 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 6 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij een laag slootpeil voor perceel 1 en neerslag van proeflocatie Kwadijk (2007-2011).*



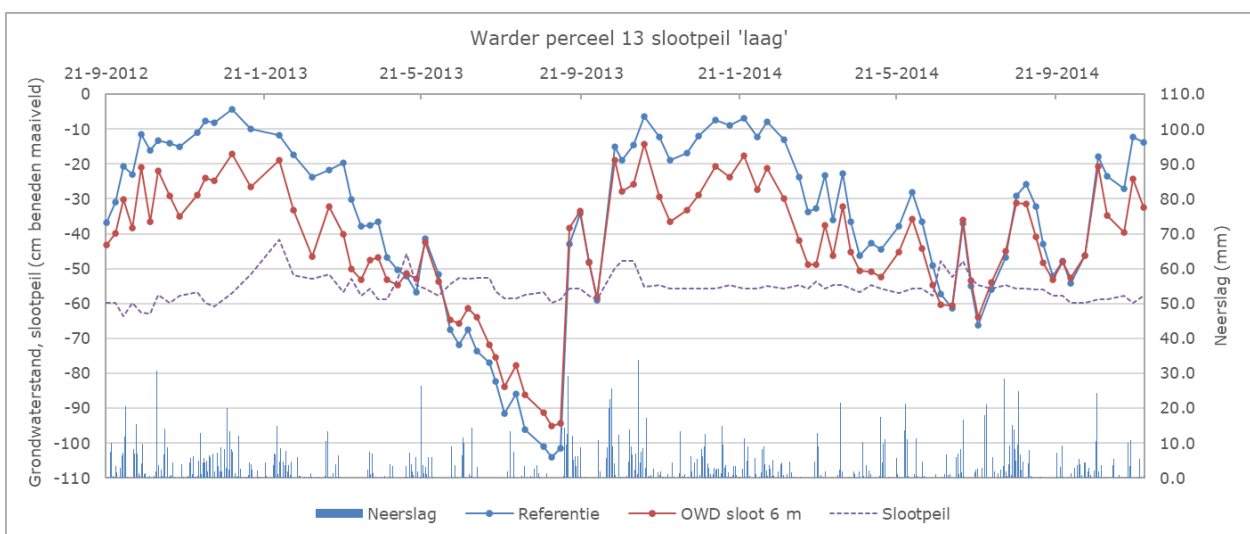
Figuur 45 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'midden' voor perceel 21 en neerslag van proeflocatie Warder (2012-2014).*



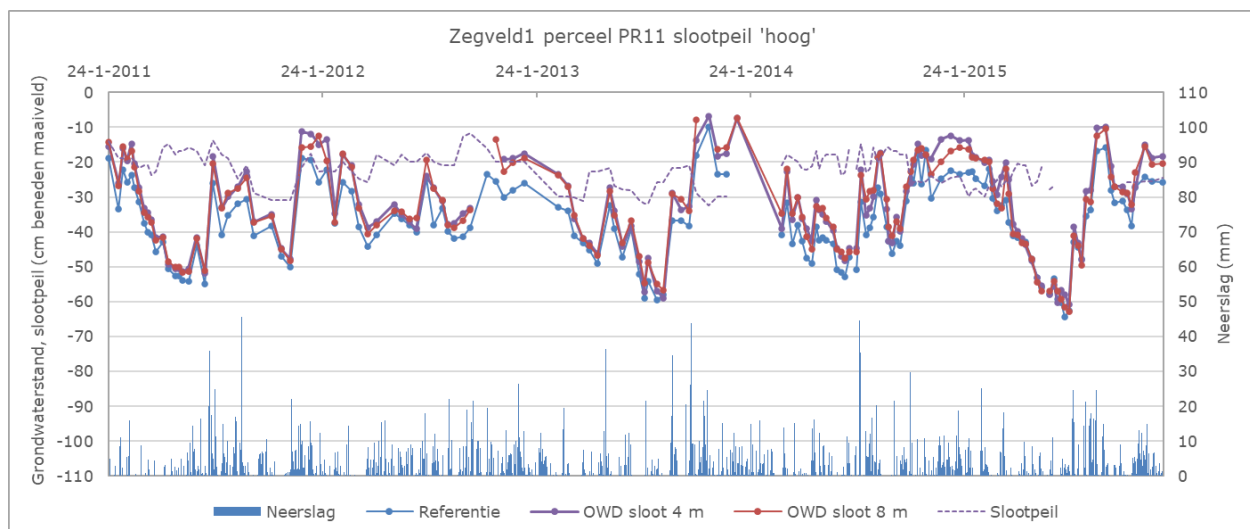
Figuur 46 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'midden' voor perceel 22 en neerslag van proeflocatie Warder (2012-2014).*



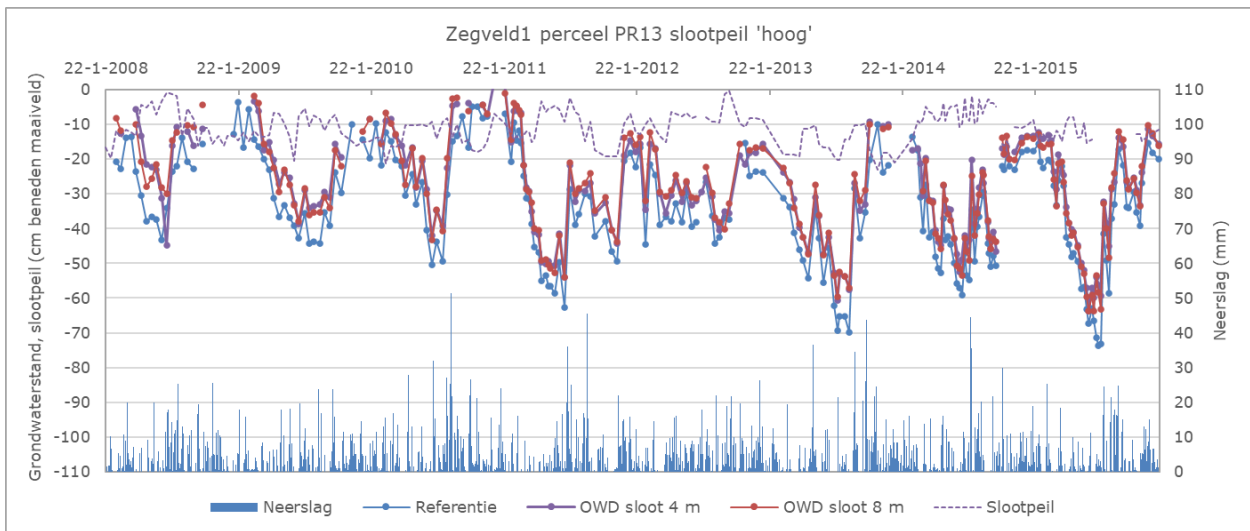
Figuur 47 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'laag' voor perceel 12 en neerslag van proeflocatie Warder (2012-2014).*



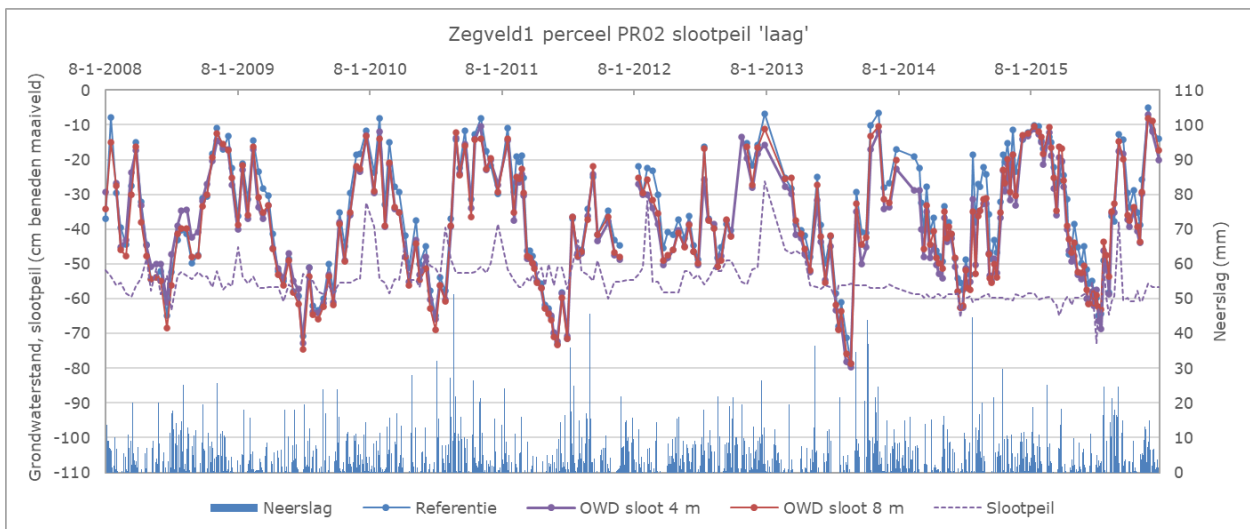
Figuur 48 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'laag' voor perceel 13 en neerslag van proeflocatie Warder (2012-2014).*



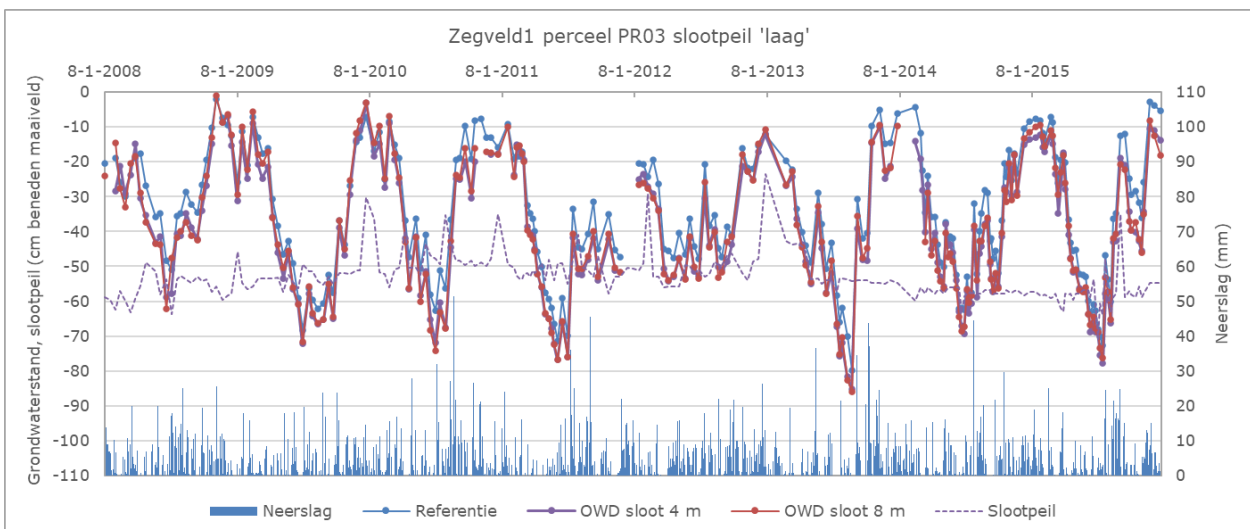
Figuur 49 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 en 8 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'hoog' voor perceel 11 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2011-2015).*



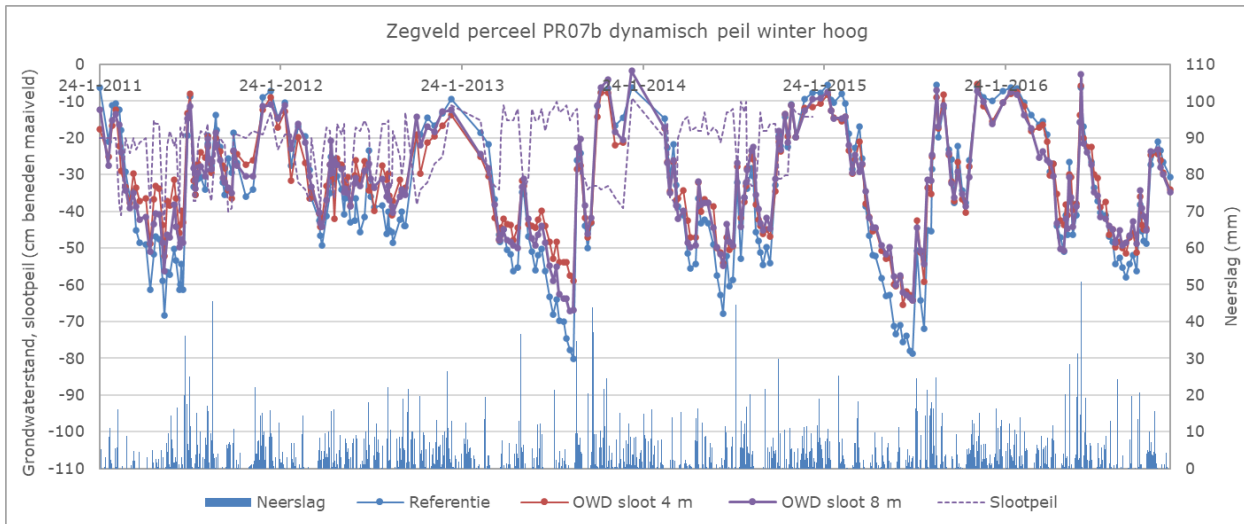
Figuur 50 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 en 8 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'hoog' voor perceel 13 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2008-2015).*



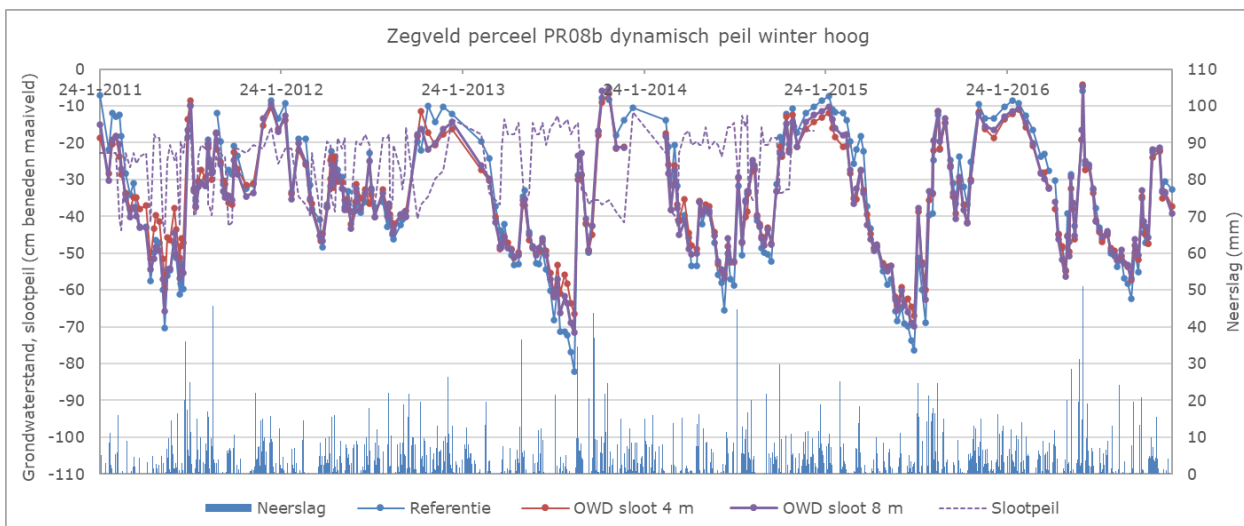
Figuur 51 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 en 8 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'laag' voor perceel 2 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2008-2015).*



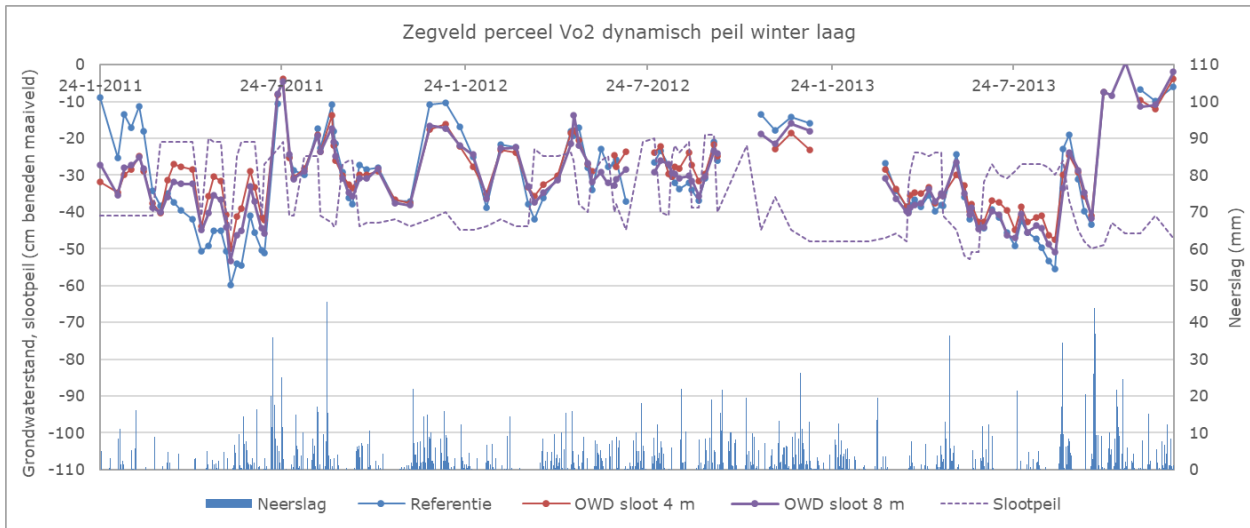
Figuur 52 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 en 8 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'laag' voor perceel 3 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2008-2015).*



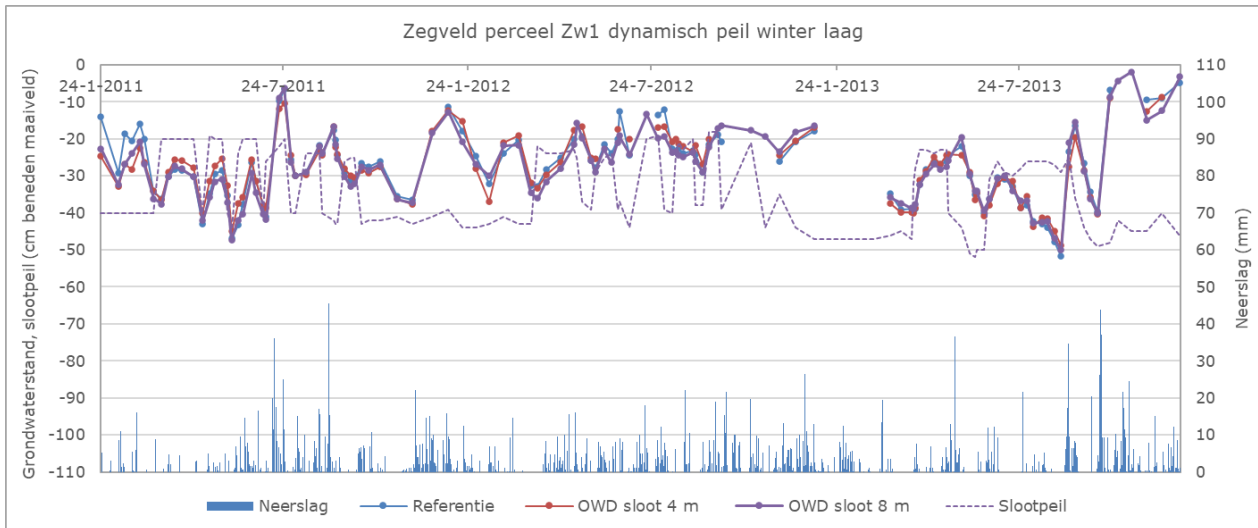
Figuur 53 Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloop, drainafstand 4 en 8 m) en slooppeil in cm beneden maaiveld bij een dynamisch slootpeilbeheer 'winter hoog' voor perceel 7b en neerslag van proeflocatie Zegveld (2011-2016).



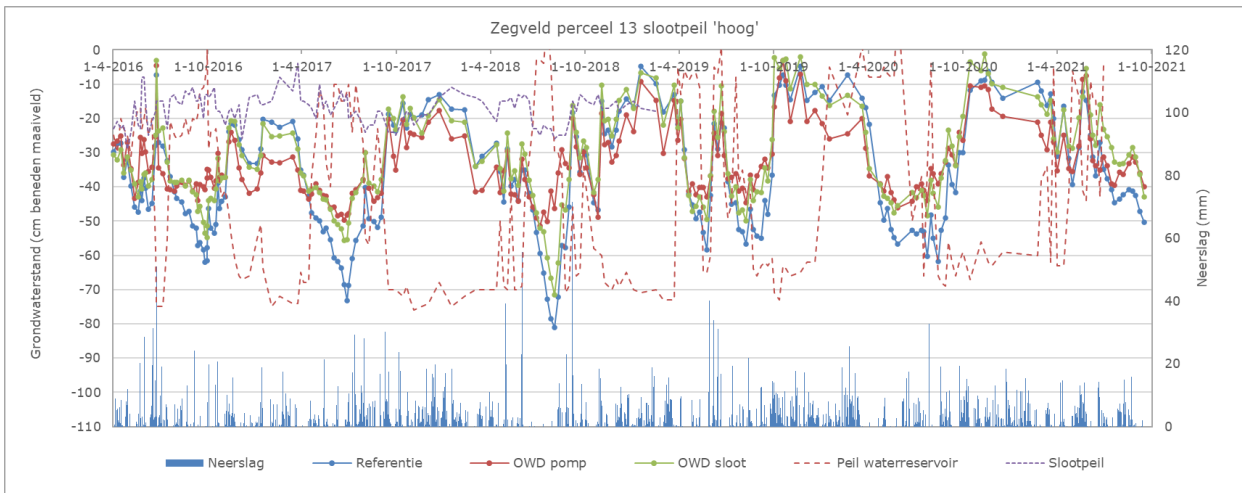
Figuur 54 Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloop, drainafstand 4 en 8 m) en slooppeil in cm beneden maaiveld bij een dynamisch slootpeilbeheer 'winter hoog' voor perceel 8b en neerslag van proeflocatie Zegveld (2011-2016).



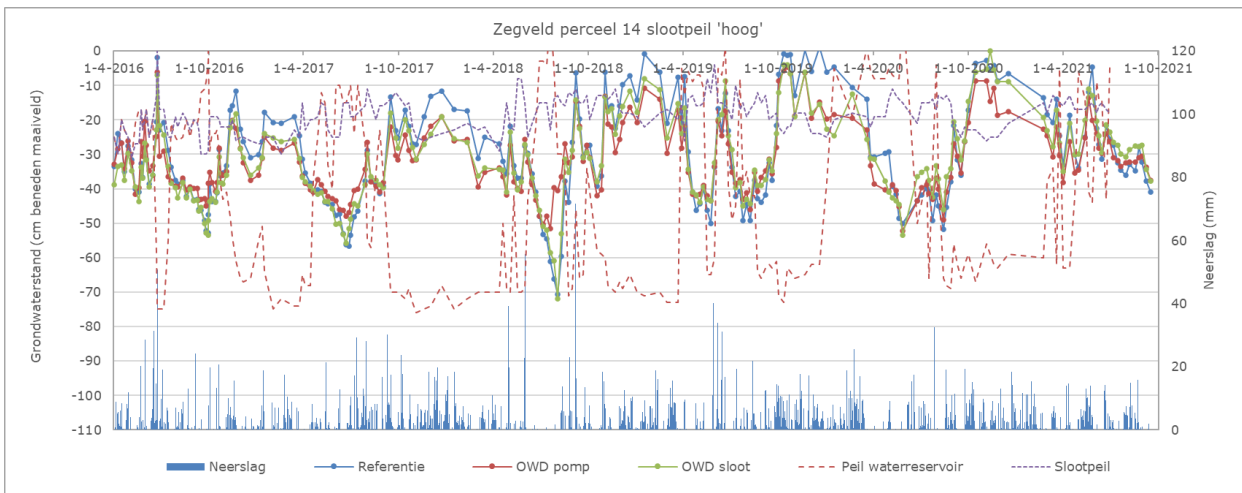
Figuur 55 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 en 8 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij een dynamisch slootpeilbeheer 'winter laag' voor perceel Vo2 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2011-2013).*



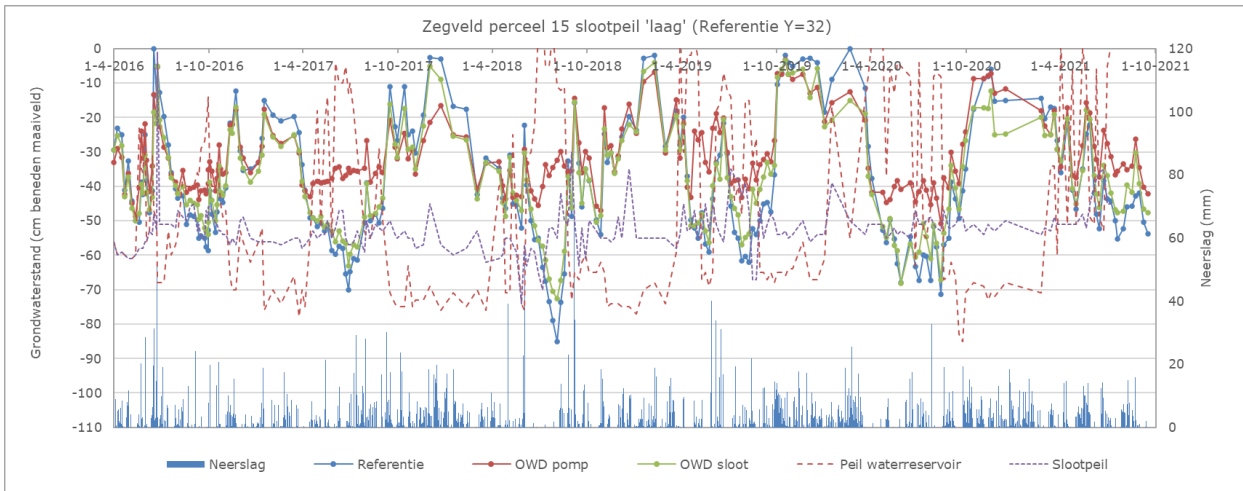
Figuur 56 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 en 8 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij een dynamisch slootpeilbeheer 'winter laag' voor perceel Zw1 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2011-2013).*



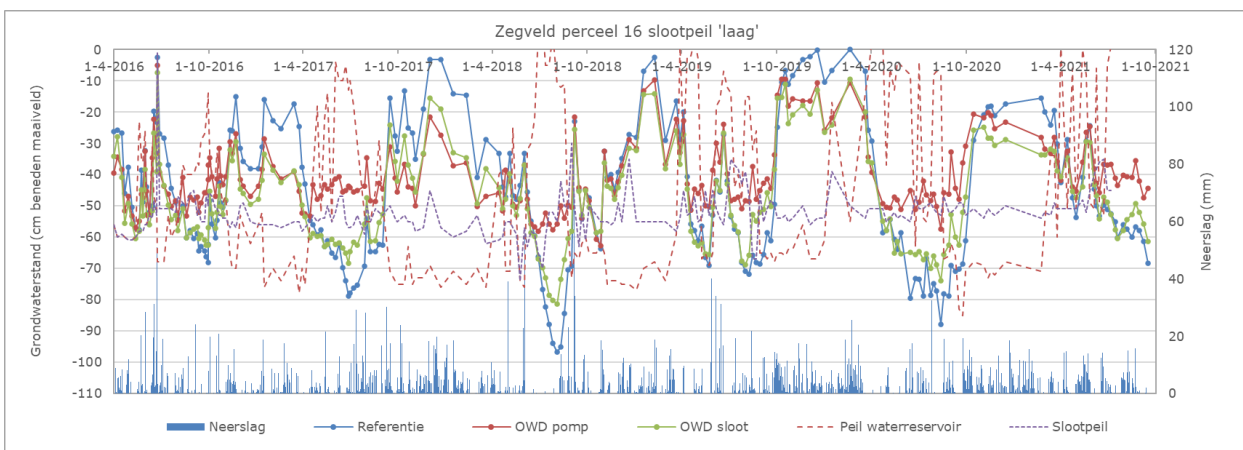
Figuur 57 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie, Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 6 m) en drukdrains (OWD-pomp, drainafstand 6 m), peil waterreservoir en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'hoog' voor perceel 13 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2016-2021).*



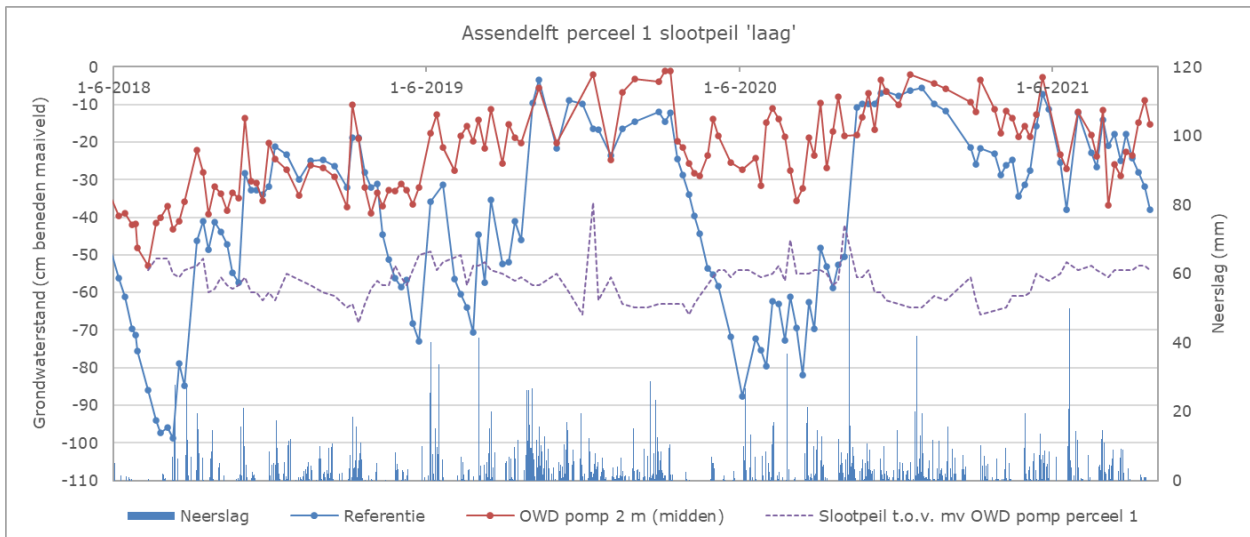
Figuur 58 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie, Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 6 m) en drukdrains (OWD-pomp, drainafstand 6 m), peil waterreservoir en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'hoog' voor perceel 14 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2016-2021).*



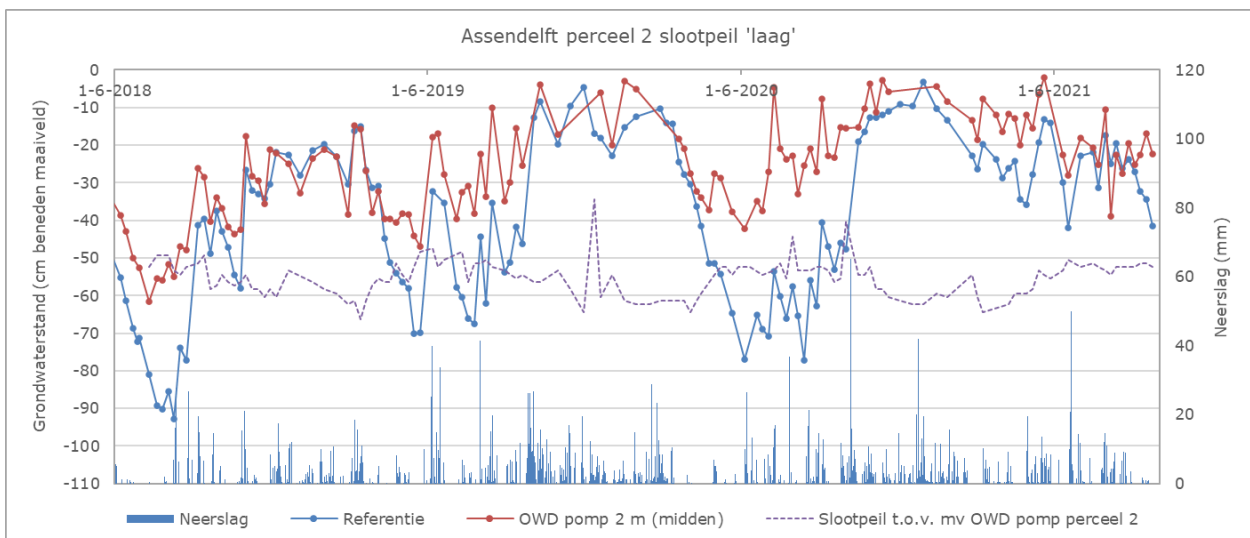
Figuur 59 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie, Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 6 m) en drukdrains (OWD-pomp, drainafstand 6 m), peil waterreservoir en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'laag' voor perceel 15 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2016-2021). Vanwege de verhogende invloed van de hoogwatersloot perceel 13-14 op de grondwaterstand van de referentie, zijn de betreffende grondwaterstanden gebaseerd op de meetraai die het verst van de hoogwatersloot aflag.*



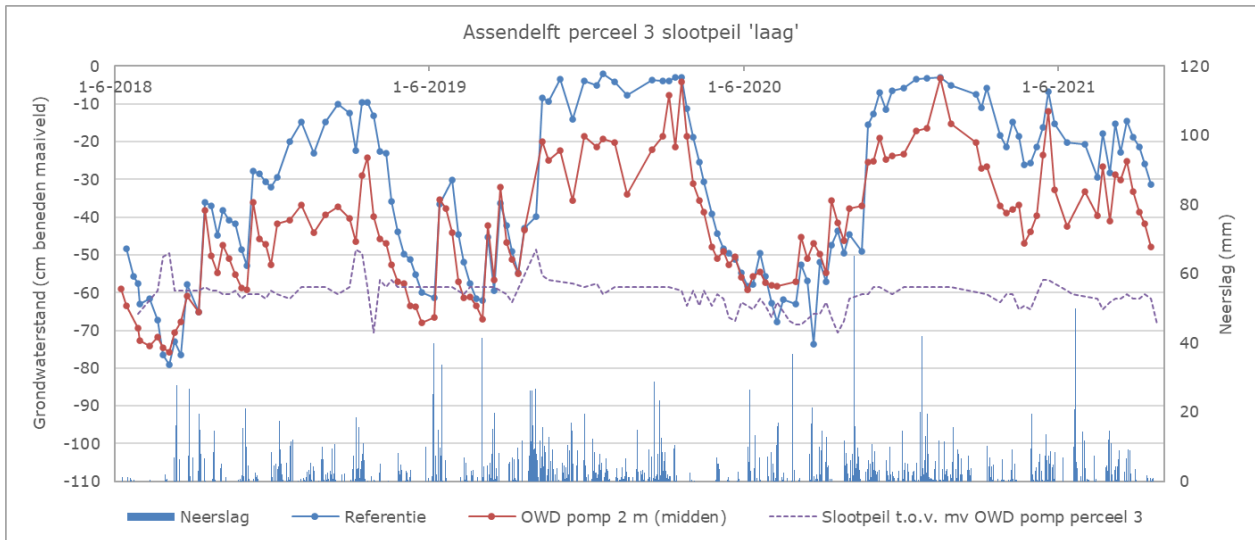
Figuur 60 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie, Onderwaterdrains (OWD-sloot, drainafstand 6 m) en drukdrains (OWD-pomp, drainafstand 6 m), peil waterreservoir en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'laag' voor perceel 16 en neerslag van proeflocatie Zegveld (2016-2021).*



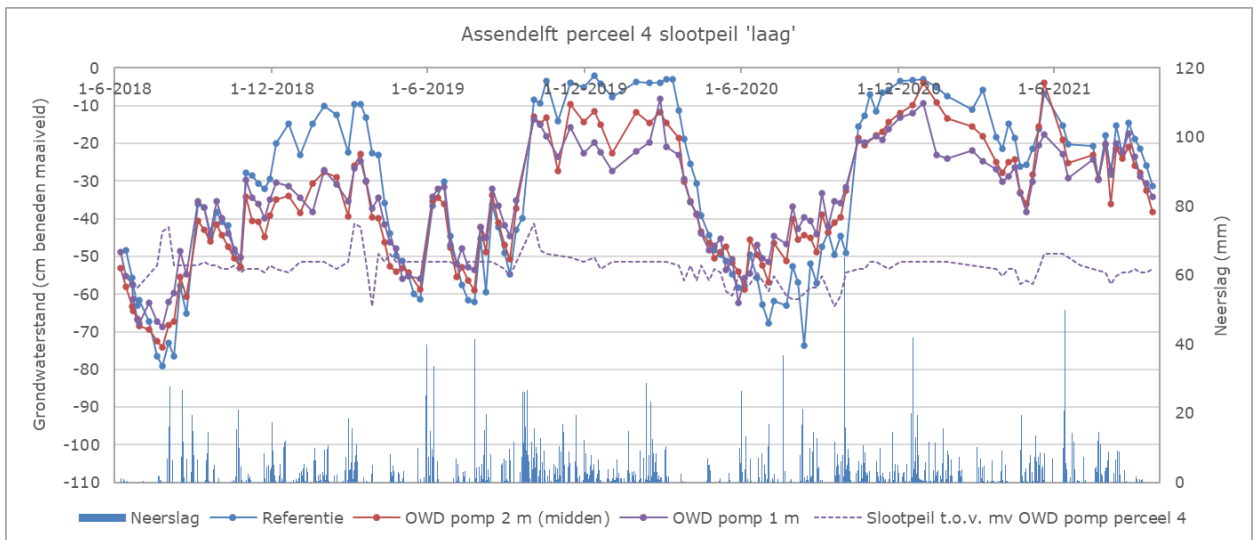
Figuur 61 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Drukdrains (drainafstand 4 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'laag' voor perceel 1 en neerslag van proeflocatie Assendelft (2018-2021).*



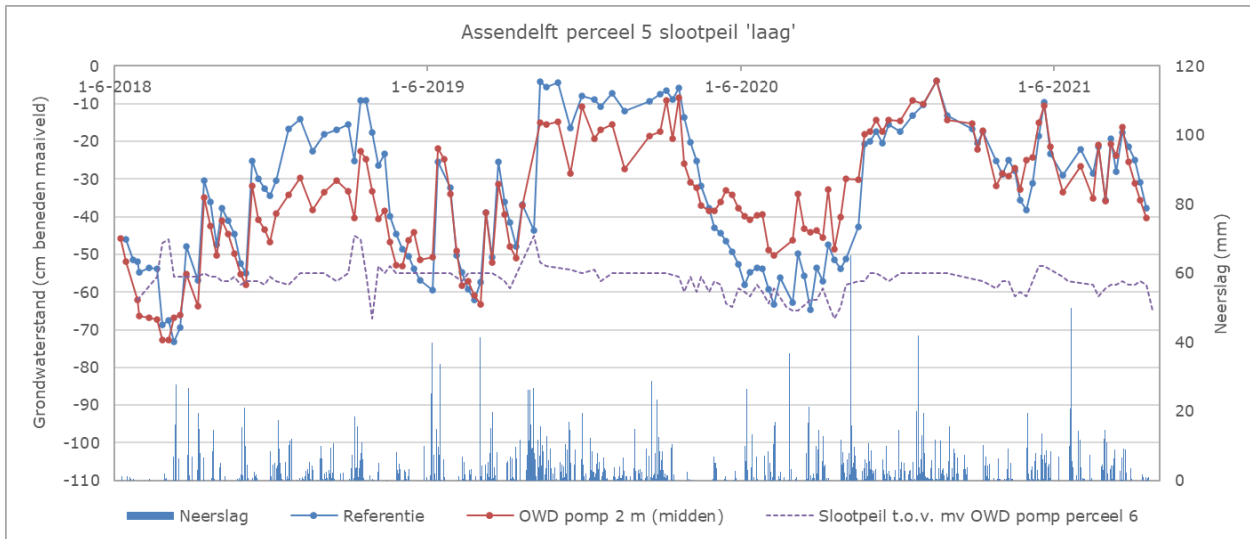
Figuur 62 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Drukdrains (drainafstand 4 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'laag' voor perceel 2 en neerslag van proeflocatie Assendelft (2018-2021).*



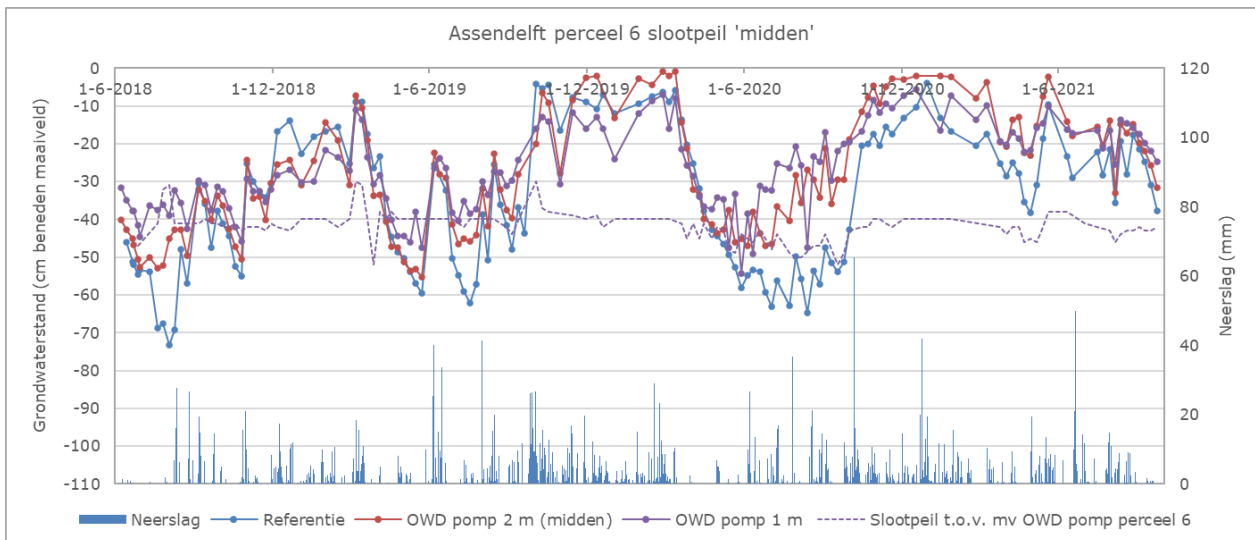
Figuur 63 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Drukdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'laag' voor perceel 3 en neerslag van proeflocatie Assendelft (2018-2021).*



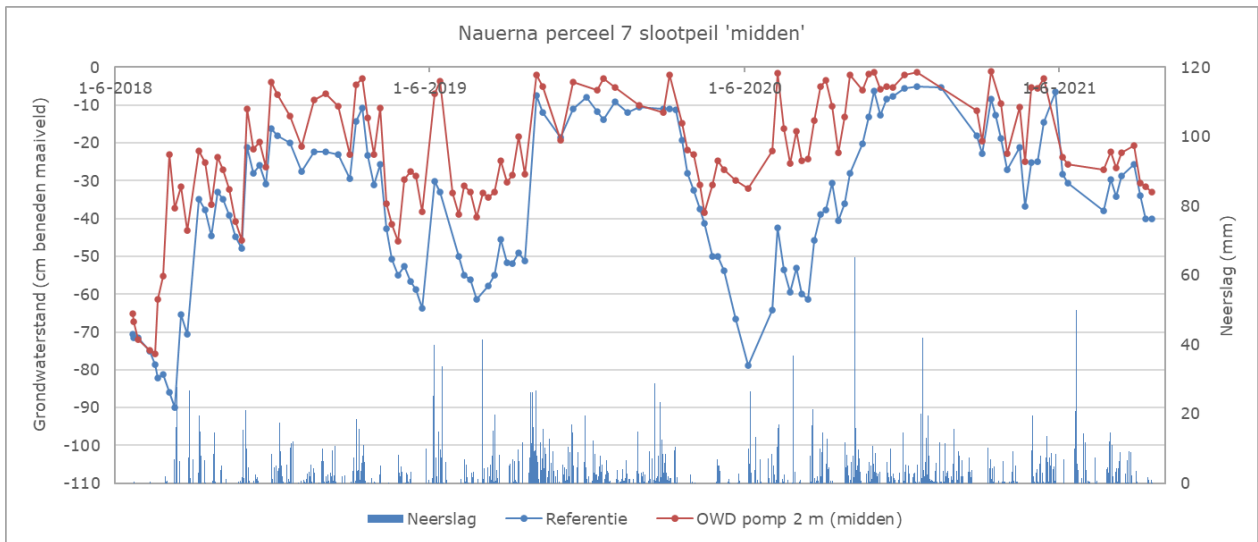
Figuur 64 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Drukdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'laag' voor perceel 4 en neerslag van proeflocatie Assendelft (2018-2021).*



Figuur 65 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Drukdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'laag' voor perceel 5 en neerslag van proeflocatie Assendelft (2018-2021).*



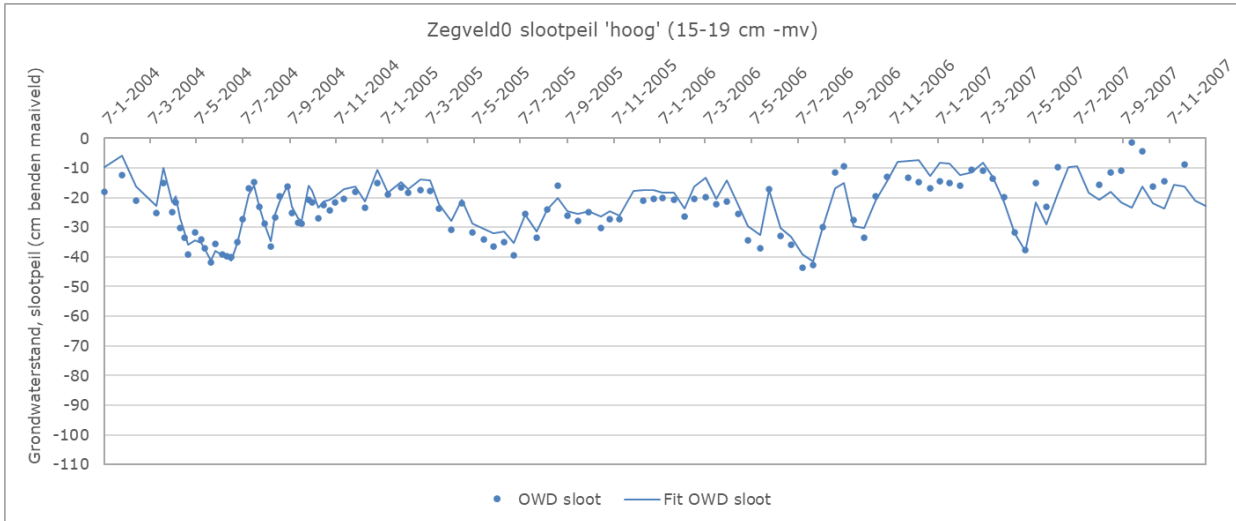
Figuur 66 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Drukdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 m) en slootpeil in cm beneden maaiveld bij slootpeil 'midden' voor perceel 6 en neerslag van proeflocatie Assendelft (2018-2021).*



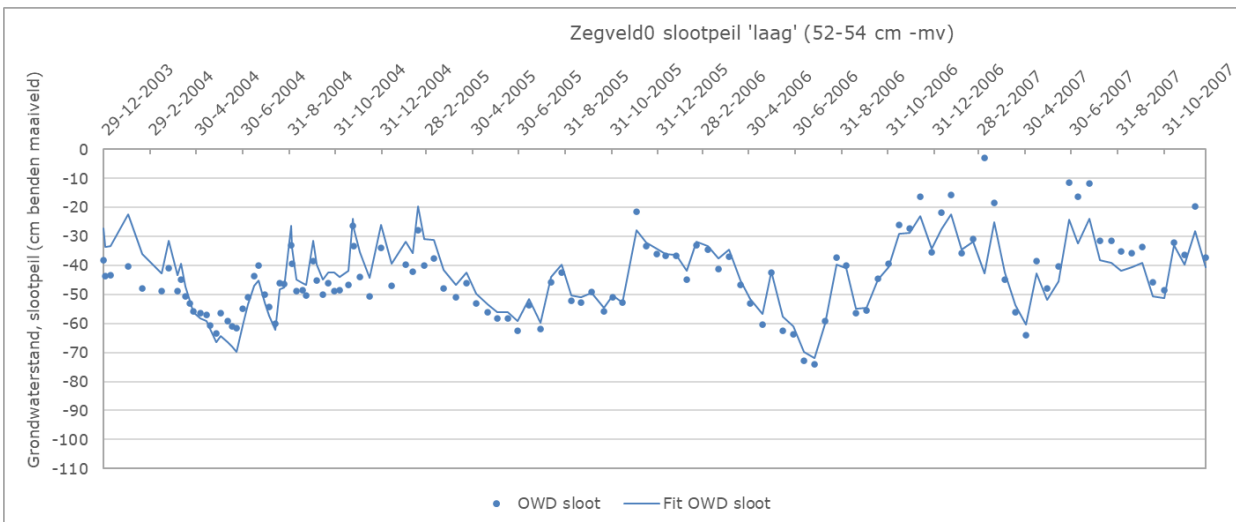
Figuur 67 *Wekelijks gemeten grondwaterstanden voor Referentie en Drukdrains (OWD-sloot, drainafstand 4 m) bij slootpeil 'midden' voor perceel 7 en neerslag van proeflocatie Nauerna (2018-2021).*

Bijlage 6 Modelfit per perceel

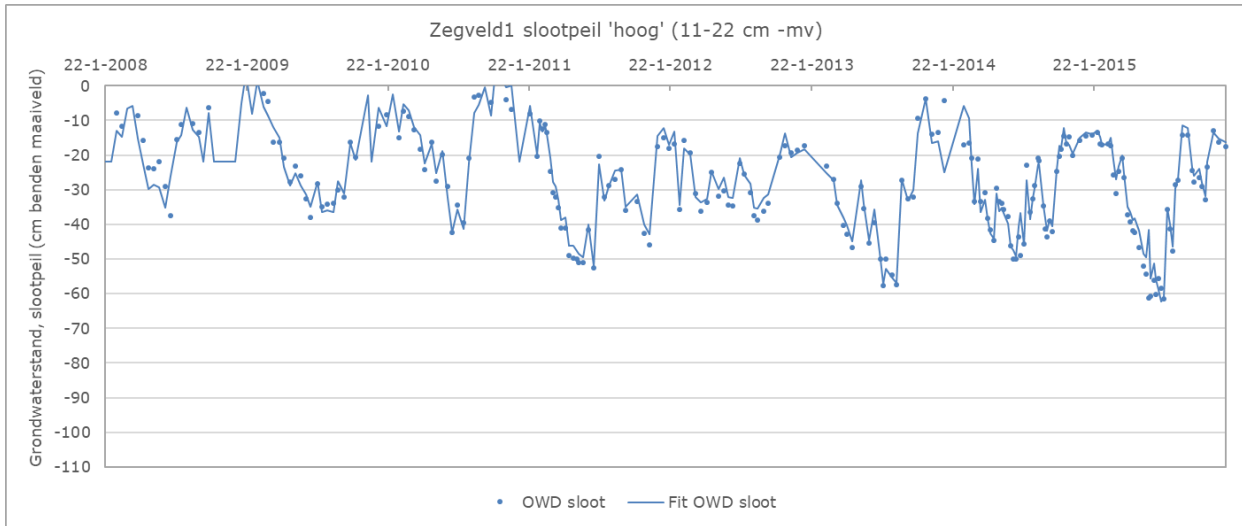
Onderwaterdrains



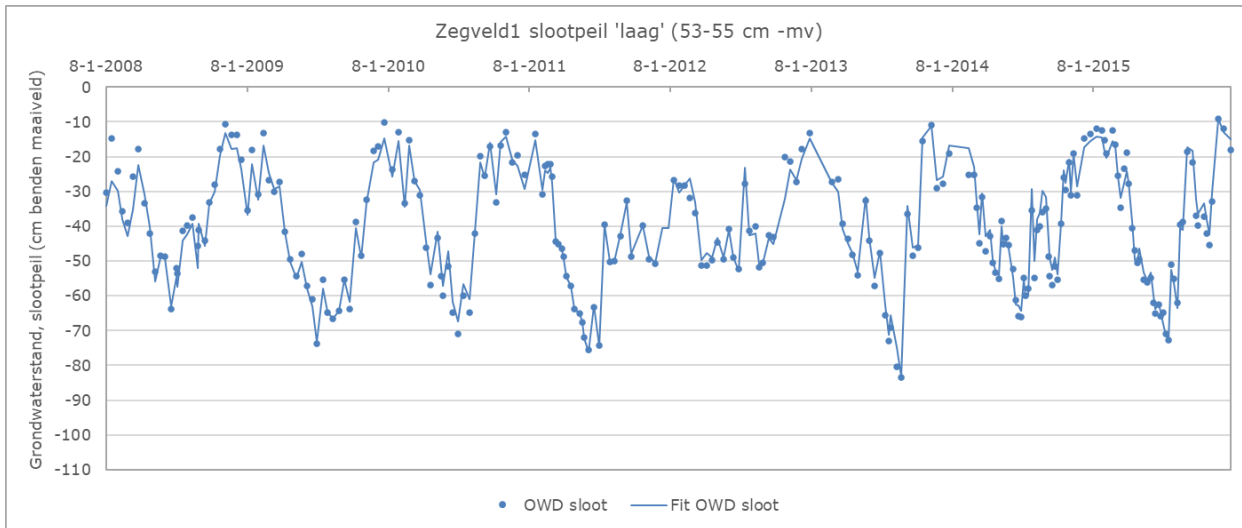
Figuur 68 De gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor onderwaterdrains (OWD-sloot) bij slootpeil 'hoog' voor perceel 11-13 van locatie Zegveld (2004-2007).



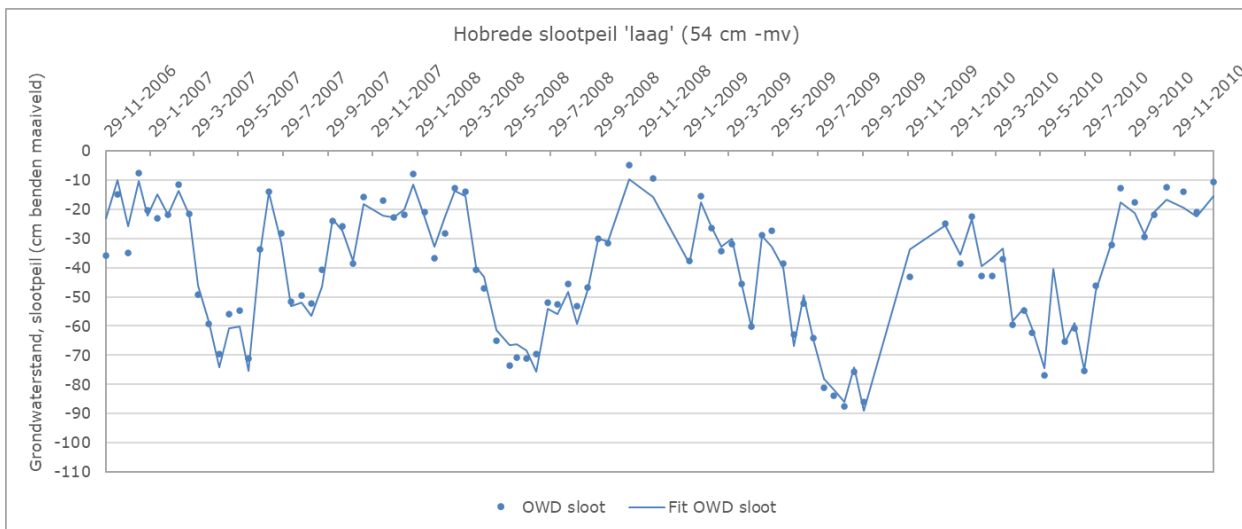
Figuur 69 De gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor onderwaterdrains (OWD-sloot) bij slootpeil 'laag' voor perceel 2-3 van locatie Zegveld (2004-2007).



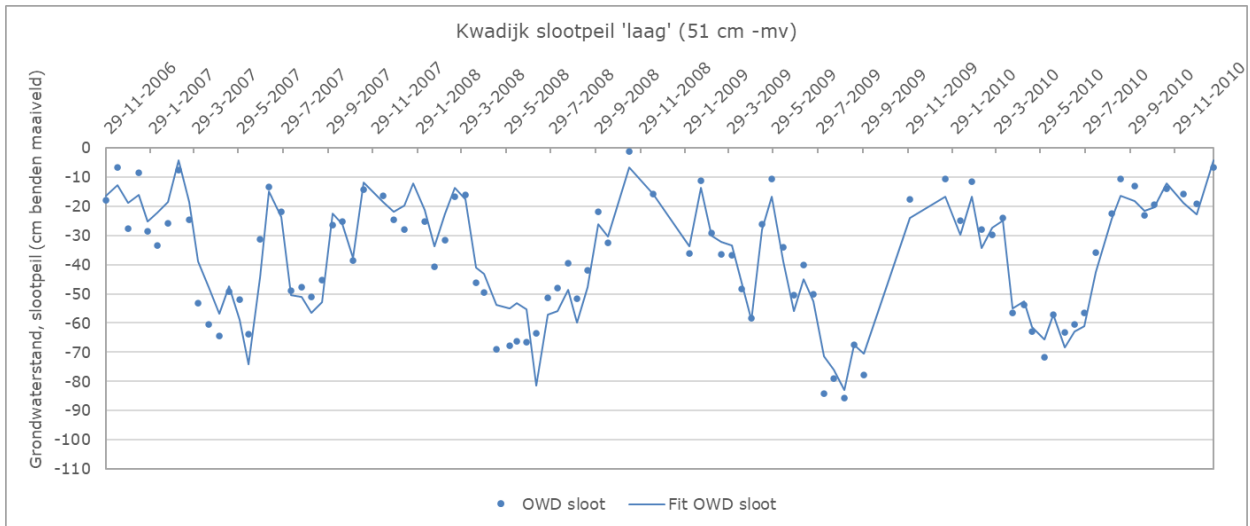
Figuur 70 De gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor onderwaterdrains (OWD-sloot) bij slootpeil 'hoog' voor perceel 11-13 van locatie Zegveld (2008-2015).



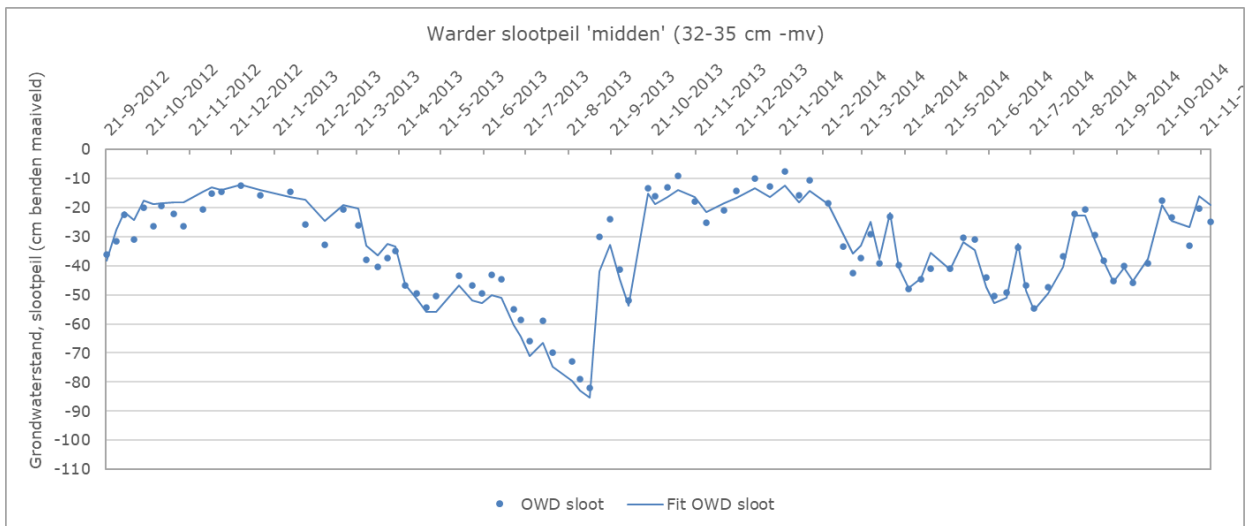
Figuur 71 De gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor onderwaterdrains (OWD-sloot) bij slootpeil 'laag' voor perceel 2-3 van locatie Zegveld (2008-2015)



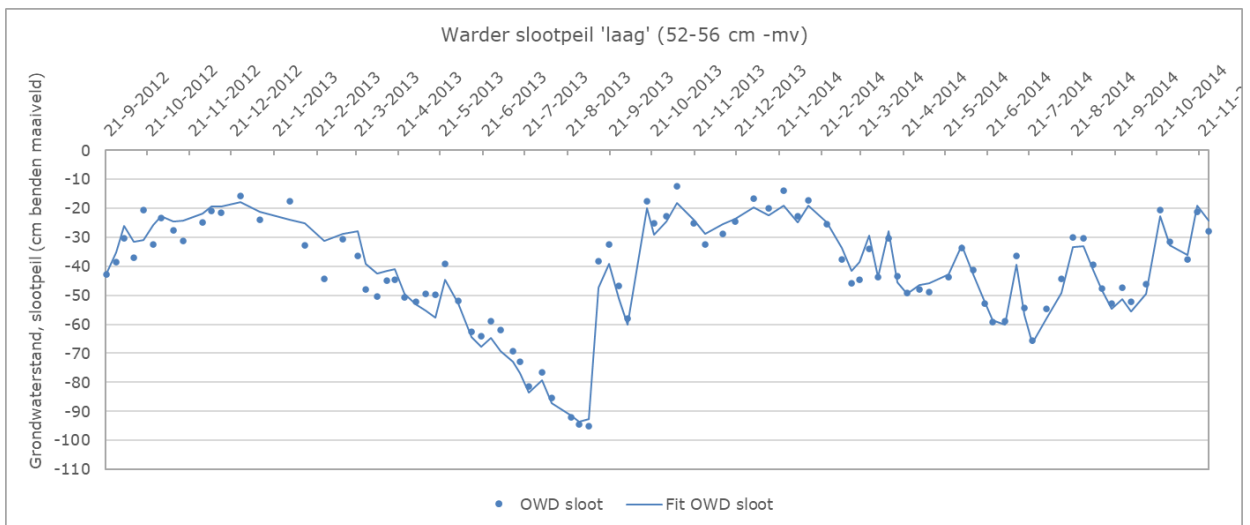
Figuur 72 De gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor onderwaterdrains (OWD-sloot) bij slootpeil 'laag' voor perceel 9 van locatie Hobrede (2007-2010)



Figuur 73 De gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor onderwaterdrains (OWD-sloot) bij slootpeil 'laag' voor perceel 3 van locatie Kwadijk (2007-2010).

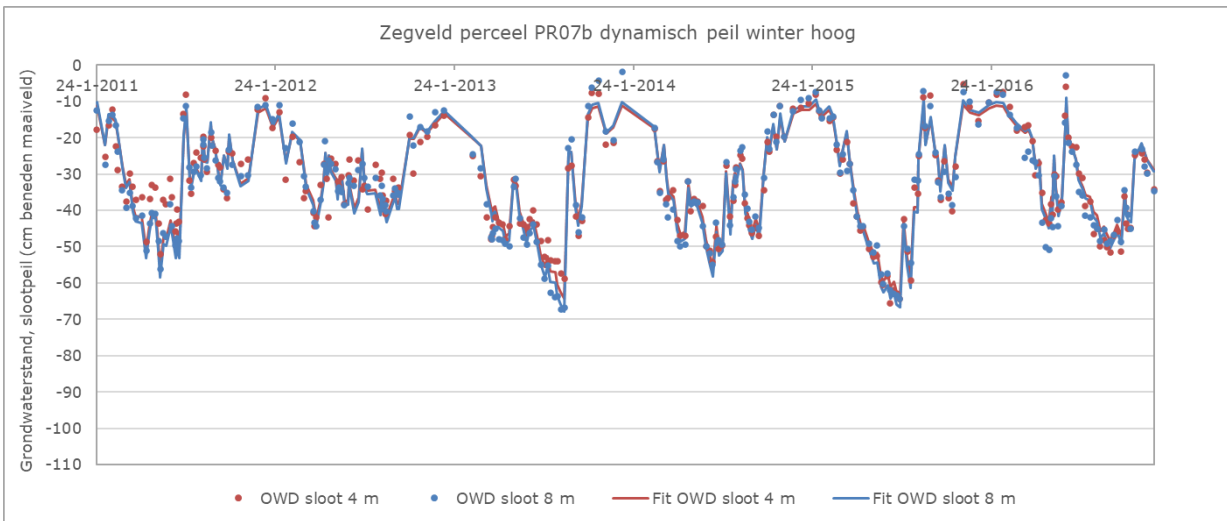


Figuur 74 De gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor onderwaterdrains (OWD-sloot) bij slootpeil 'midden' voor perceel 12-13 van locatie Wardeer (2007-2010).

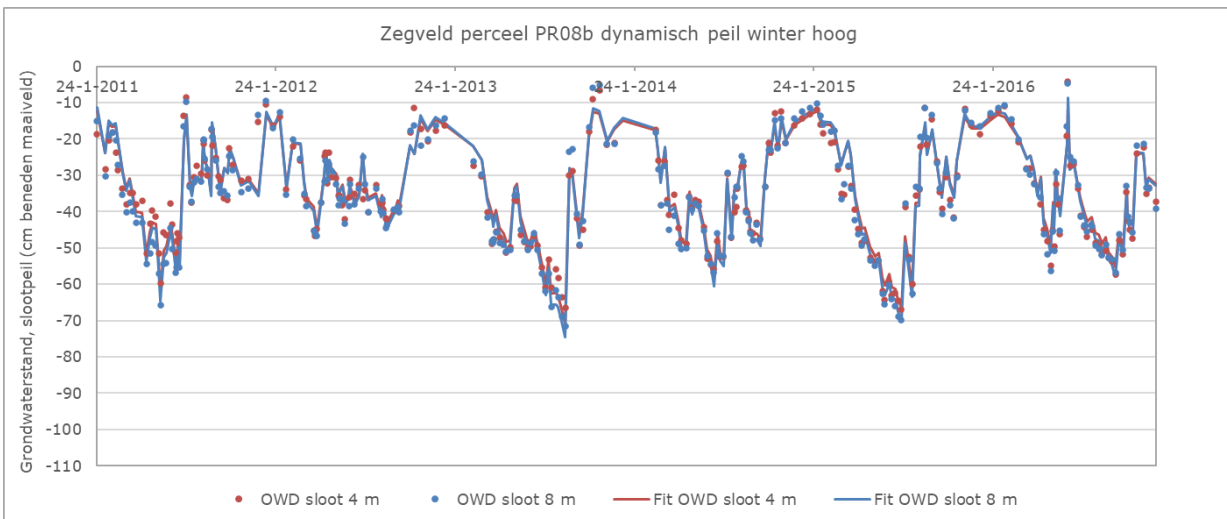


Figuur 75 De gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor onderwaterdrains (OWD-sloot) bij slootpeil 'laag' voor perceel 21-22 van locatie Wardeer (2007-2010).

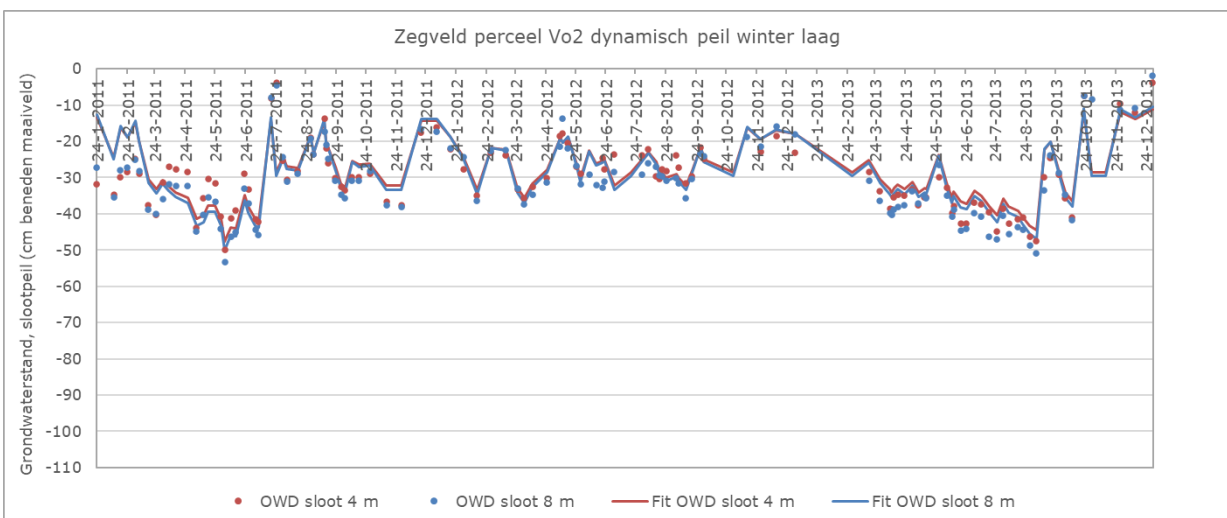
Onderwaterdrains met dynamische slootpeilbeheer



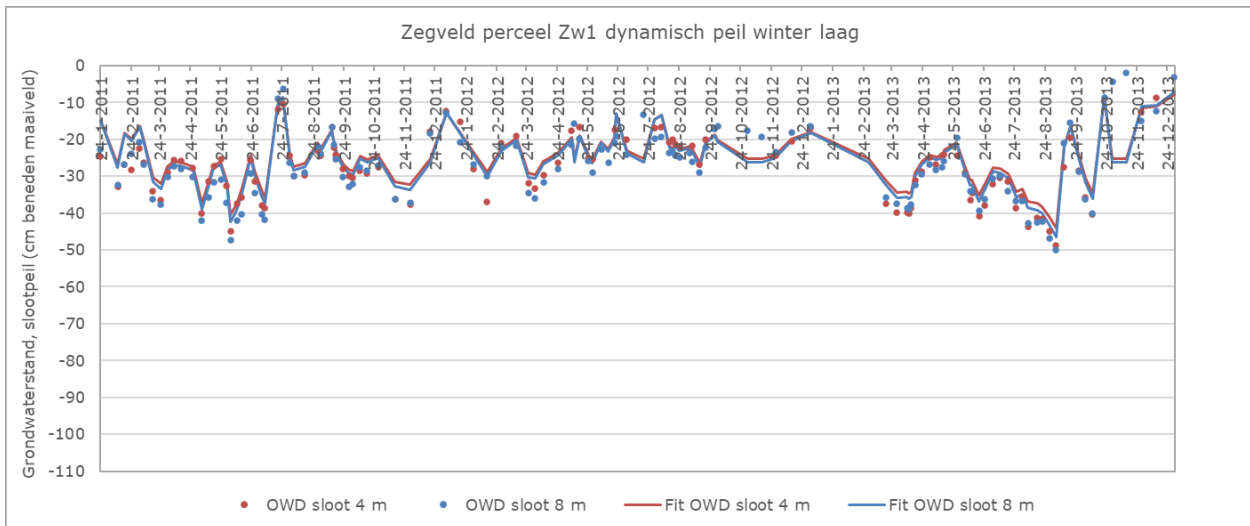
Figuur 76 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor onderwaterdrains (OWD-sloot) bij dynamisch peil 'winter hoog' en drainafstand 4 en 8 m voor perceel 7b van locatie Zegveld (2011-2016).



Figuur 77 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor onderwaterdrains (OWD-sloot) bij dynamisch peil 'winter hoog' en drainafstand 4 en 8 m voor perceel 8b van locatie Zegveld (2011-2016).

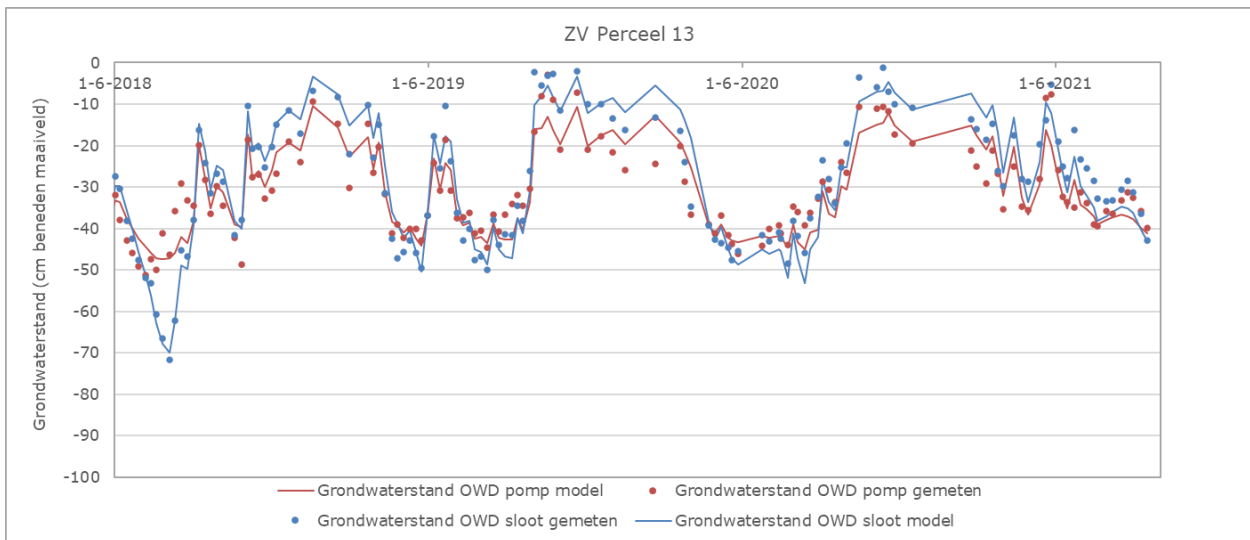


Figuur 78 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor onderwaterdrains (OWD-sloot) bij dynamisch peil 'winter laag' en drainafstand 4 en 8 m voor perceel Vo2 van locatie Zegveld (2011-2016).

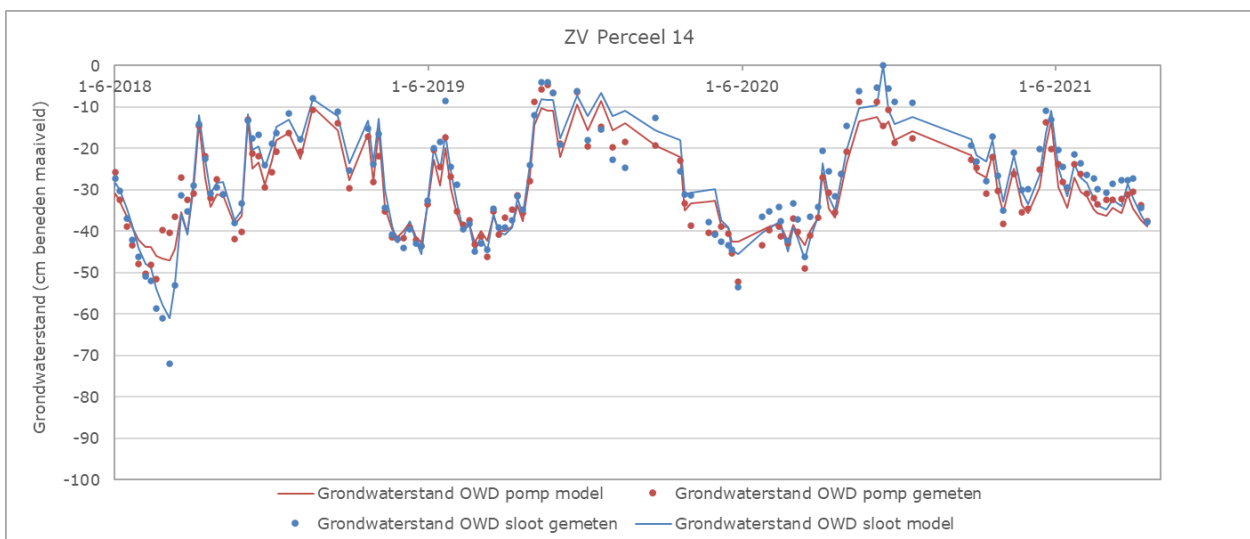


Figuur 79 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor onderwaterdrains (OWD-sloot) bij dynamisch peil 'winter laag' en drainafstand 4 en 8 m voor perceel Zw1 van locatie Zegveld (2011-2016).

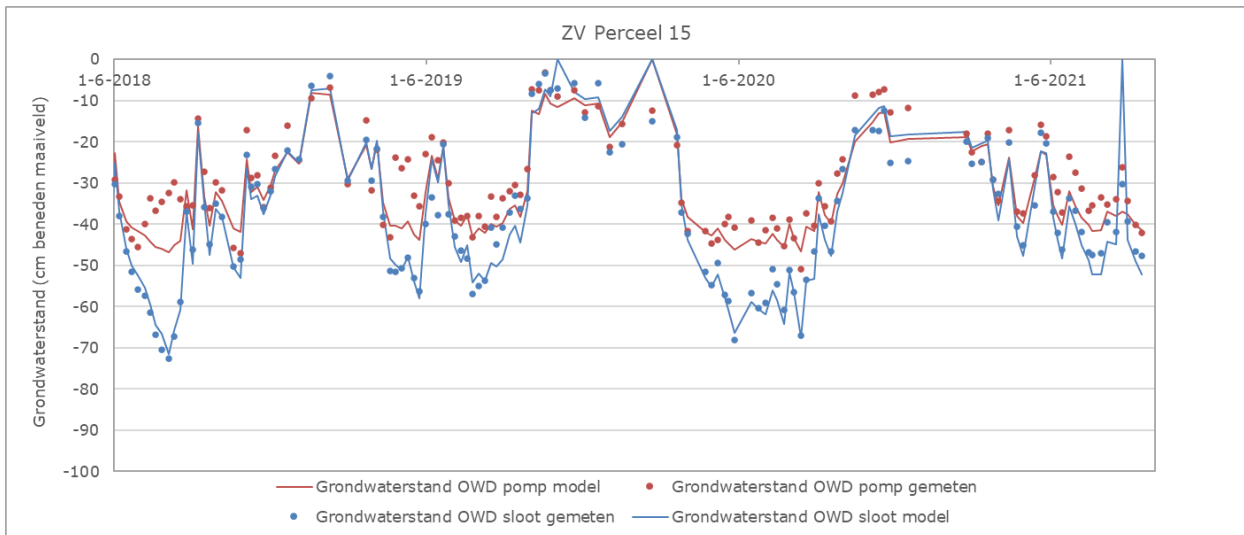
Drukdrains en onderwaterdrains



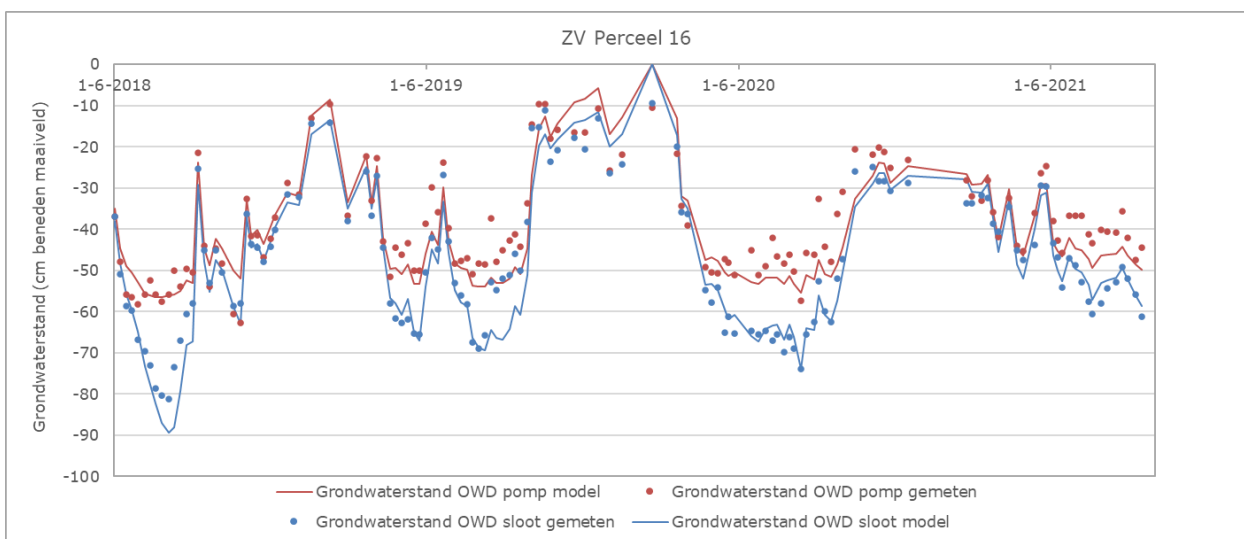
Figuur 80 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor Onderwaterdrains (OWD-sloot) en drukdrains (OWD-pomp) bij slootpeil 'hoog' voor perceel 13 van proeflocatie Zegveld (2018-2021).



Figuur 81 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor Onderwaterdrains (OWD-sloot) en drukdrains (OWD-pomp) bij slootpeil 'hoog' voor perceel 14 van proeflocatie Zegveld (2018-2021).

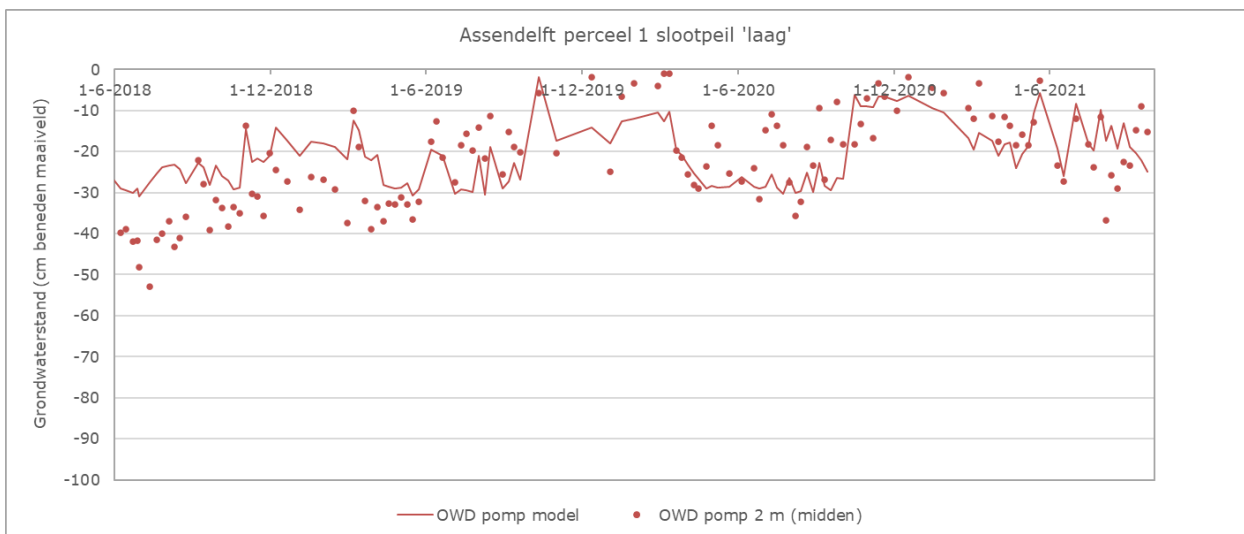


Figuur 82 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor Onderwaterdrains (OWD-sloot) en drukdrains (OWD-pomp) bij slootpeil 'laag' voor perceel 15 van proeflocatie Zegveld (2018-2021).

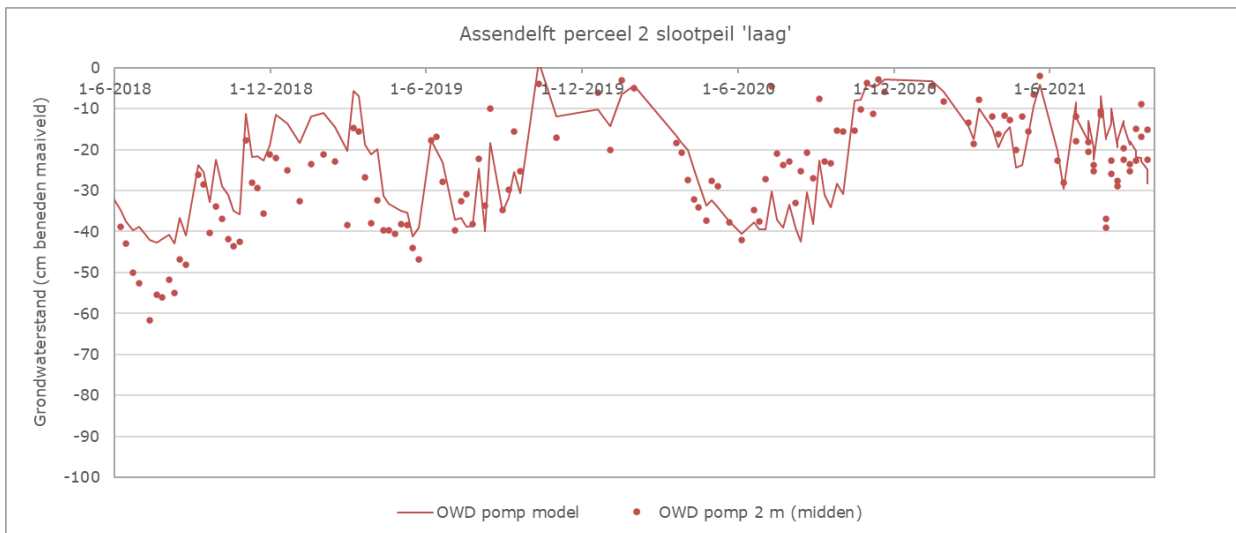


Figuur 83 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor Onderwaterdrains (OWD-sloot) en drukdrains (OWD-pomp) bij slootpeil 'laag' voor perceel 16 van proeflocatie Zegveld (2018-2021).

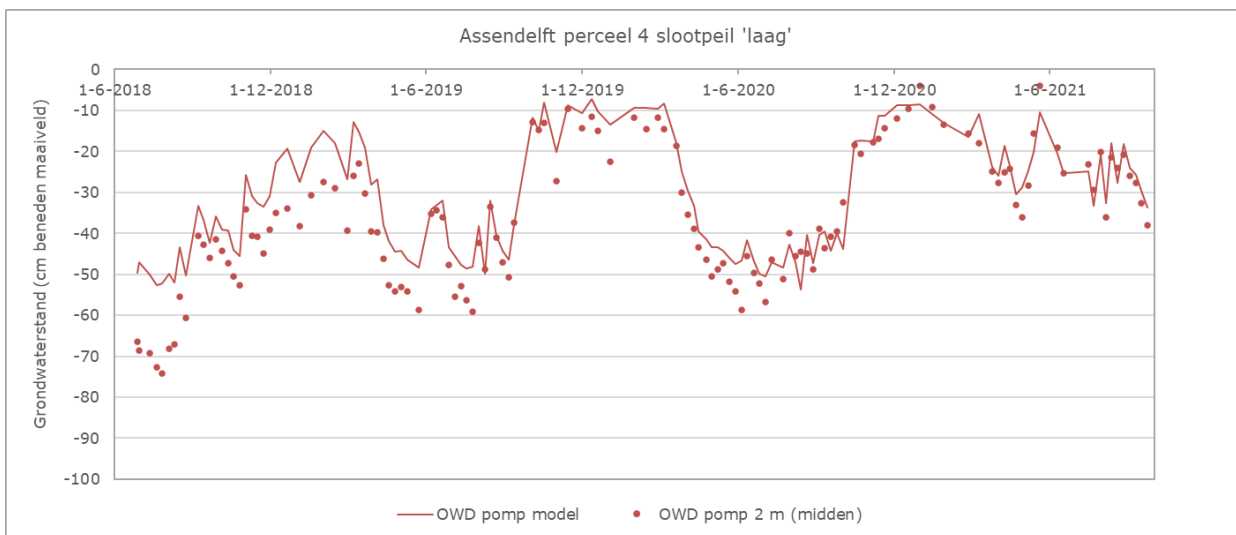
Drukdrains



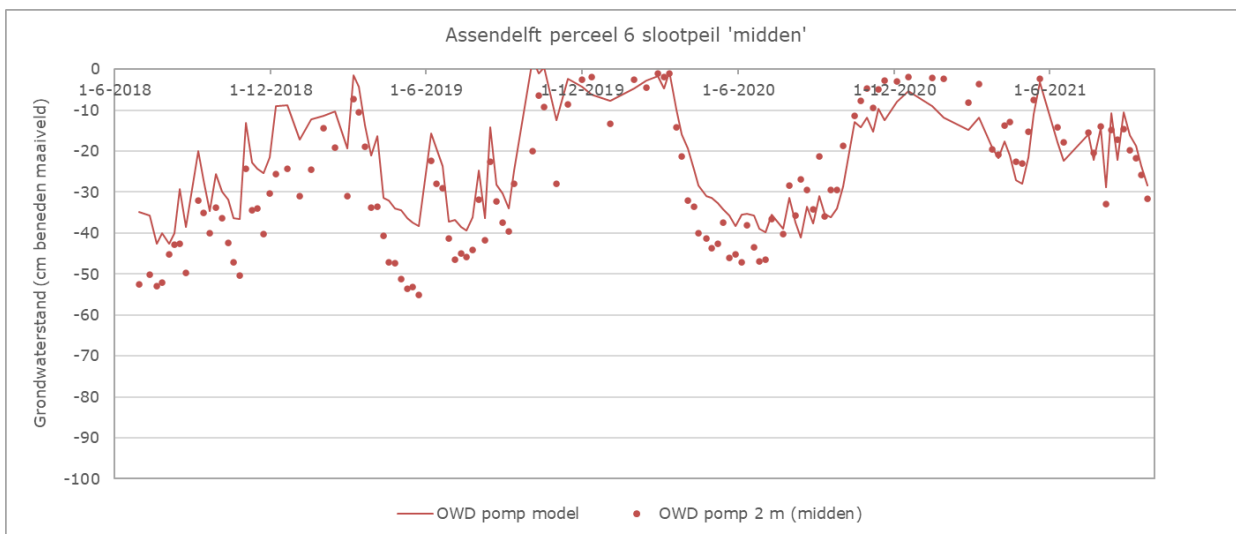
Figuur 84 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor drukdrains (OWD-pomp) bij slootpeil 'laag' voor perceel 1 van proeflocatie Assendelft (2018-2021).



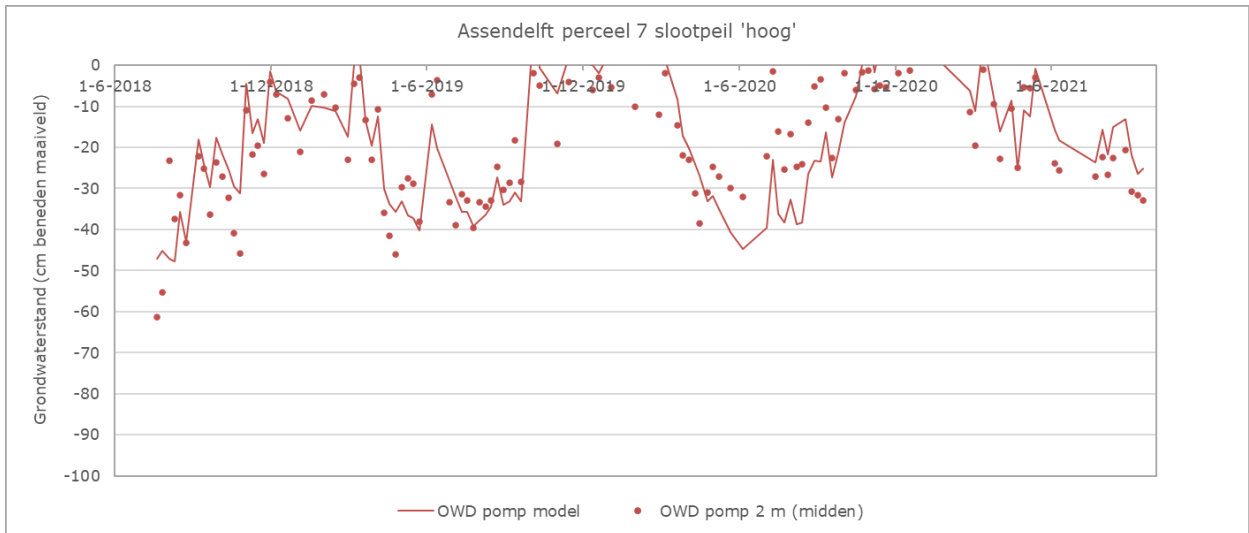
Figuur 85 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor drukdrains (OWD-pomp) bij slootpeil 'laag' voor perceel 2 van proeflocatie Assendelft (2018-2021).



Figuur 86 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor drukdrains (OWD-pomp) bij slootpeil 'laag' voor perceel 4 van proeflocatie Assendelft (2018-2021).



Figuur 87 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor drukdrains (OWD-pomp) bij slootpeil 'midden' voor perceel 6 van proeflocatie Assendelft (2018-2021).



Figuur 88 Gemeten en gemodelleerde grondwaterstand voor drukdrains (OWD-pomp) bij slootpeil 'midden' voor perceel 7 van proeflocatie Nauerna (2018-2021).

Bijlage 7 Grasopbrengst

Tabel 1 Grasopbrengst per snede (1-6) en totaal per locatie per drooglegging per jaar voor de behandelingen C-N0, C-N1, D-N0 en D-N1.

Locatie	C-N0						C-N1						D-N0						D-N1						Totaal									
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	C-N0	C-N1	D-N0	D-N1						
Hobrede																																		
60																																		
2007		2348	2547	2912									2915	2427	3029				2694	2450	3025				3053	2463	3238				7807	8371	8168	8754
2008	2597	1858	2449	1363			4776	2354	3141	1439			3060	1543	2685	1559			5215	2428	3178	1364			8268	11710	8847	12185						
Kwadijk																																		
20																																		
2007			1580							1917																								
2008	1610	2483	2720	1099			3874	1798	3123	1286															7911	10082								
60																																		
2007		2111	2491					2825	2878				3129	2550					3177	2873				4602	5704	5679	6049							
2008	3028	1688	3180	2365			5096	2809	3710	2046			3504	2023	3420	2059		4818	2616	3661	1961			10261	13662	11006	13057							
Warder																																		
40																																		
2013	3451	1389	1647	1642			5242	2414	2235	2100			3886	1363	1114	1078		5675	2558	1862	1808			8129	11991	7441	11903							
2014	3029	1850	2224	1375			4187	2240	2765	1526			2964	1984	1899	1322		4516	2357	2757	1437			8478	10718	8169	11068							
60																																		
2013	3061	1266	1616	1595			5106	2351	2194	1920			3970	1360	1303	1694		5095	2695	1865	2208			7538	11572	8326	11863							
2014	3832	2155	2141	1704			4967	2557	2795	1843			3758	2343	2240	1730		4831	3075	2894	1820			9833	12162	10070	12620							
Zegveld (2004-2007)																																		
20																																		
2004	2353	1926	1480	1649	1050	626	3365	2806	2697	2250	1439	616	2744	1749	1462	1218	1061	534	3662	2438	2865	1957	1596	590	9084	13173	8769	13107						
2005	2496	1065	1031	1397	893	775	3886	2374	2124	2051	1387	800	2291	964	887	1344	807	708	3993	2096	2164	1775	1238	768	7658	12622	7001	12034						
2006	896	1048	960	1262	717	1048	3448	2409	2072	1641	1126	1028	425	960	949	1525	710	751	2563	2381	1594	1761	1015	907	5931	11725	5320	10221						
2007	1976	1789	4348	1143	675		4081	2371	4839	1591	766		767	2249	4127	928	517		2774	2847	4075	1649	648		9931	13648	8588	11994						
60																																		
2004	2594	2036	1497	2222	1383	929	3455	2839	2338	2846	1516	1004	3114	2234	1825	2250	1488	998	4026	2768	2600	2845	1679	1061	10661	13997	11909	14980						
2005	2837	1644	1663	2195	1597	1153	4055	2419	2220	2672	2041	1220	2242	1845	1359	1781	1441	1171	3902	2517	2195	2465	2236	1235	11088	14628	9839	14550						
2006	1699	3029	1466	1928	840	1048	3953	3027	2035	2072	924	1142	1690	2667	1329	1798	705	923	3602	2965	1994	1802	854	1081	10010	13152	9112	12298						
2007	1875	2095	4996	1794	694		3579	2192	5415	1532	647		1874	1947	5089	1687	840		3727	2006	5867	1573	818		11454	13366	11437	13991						
Zegveld (2011-2015)																																		
20																																		
2011	1923	1414	2004	2292	1395		3164	1462	4040	2864	1243		2200	1203	2521	2402	1617		3259	1354	4409	2687	1294		9029	12772	9942	13002						
2012	2415	1949	1722	1739	857		3931	2607	2464	2421	783		2211	2053	1981	2041	892		3746	3030	2804	2615	916		8682	12206	9179	13109						
2013	2844	1414	1071	1098	1352		5277	2314	1670	1746	1596														7779	12603								
2014	3263	2851	1694	2753	1022		3535	2966	1602	2614	961														11582	11678								
2015	3850	1704	1862	1605	1430		5488	3181	2463	2745	1483														10453	15360								
60																																		
2011	1821	2118	2187	2402	1239		3408	1913	3264	2653	1228		2194	1936	2616	2379	1411		3562	1436	3627	2624	1392		9767	12466	10536	12640						
2012	2104	2587	1673	1728	737		3994	2529	2585	2362	1063		2491	2609	1937	2092	646		3902	2673	2654	2423	693		8830	12533	9776	12346						
2013	3386	1717	1949	1474	1284		5437	2245	2329	1803	1331														9810	13144								
2014	3536	3189	1844	2187	767		3923	3068	1816	2262	845														11523	11914								
2015	2704	2386	1837	1917	1453		4504	3020	2188	2619	1567														10297	13898								

Tabel 3 N-gehalte per snede (1-6) en totaal per locatie per drooglegging per jaar voor de behandelingen C-N0, C-N1, D-N0 en D-N1.

Locatie Drooglegging	C-N0					C-N1					D-N0					D-N1					Totaal								
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	C-N0	C-N1	D-N0	D-N1	
Hobrede																													
60																													
2007																													
2008	24	22	31	39			26	26	32	41			22	22	31	40		23	24	33	40			29	31	29	30		
Kwadijk																													
20																													
2007																													
2008	29	32	33	33			29	32	32	35														32	32				
60																													
2007																													
2008	24	23	31	36			25	26	32	39			23	22	29	36		25	25	31	38			29	30	28	30		
Warder																													
40																													
2013	23	26	32	35			22	29	32	35			21	24	26	33		22	29	30	35			29	30	26	29		
2014	23	24	29	35			22	29	32	37			21	27	31			22	31	32			28	30	26	28			
60																													
2013	23	26	27	33			22	29	31	36			23	26	28	35		24	29	31	36			27	30	28	30		
2014	24	26	28	33			23	29	31	35			22	26	29	32		24	29	32	33			28	30	27	30		
Zegveld (2004-2007)																													
20																													
2004	26	26	24	26	28		29	27	29	25	28		25	24	22	28	25	26	27	25	26	25		26	28	25	26		
2005	23	25	25	26	27	31	23	29	26		27	29	24	23	25	24	26	29	25	27	24	26	25	27	26	27	25	26	
2006																													
2007																													
60																													
2004	23	23	27	29	30		28	28	31	32	31		26	23	26	30	29	30	30	32	33	31		26	30	27	31		
2005	24	24	27	26	27		30	29	26	28	26													25	28				
2006																													
2007																													
Zegveld (2011-2015)																													
20																													
2011	28	27	25	29	32		31	36	26	29	31		27	30	24	27	34	30	37	25	27	31		28	31	28	30		
2012	24	23	23	32	34		27	26	23	27	32		23	24	27	32	35	25	26	24	27	33		27	27	28	27		
2013																													
2014																													
2015																													
60																													
2011	30	31	26	29	32		33	36	28	29	32		30	31	25	28	32	31	39	28	30	33		30	32	29	32		
2012	25	22	25	33	35		28	27	28	29	34		27	23	25	33	37	29	29	28	30	37		28	29	29	31		
2013																													
2014																													
2015																													

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



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

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

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

