

Bevloeiing ten behoeve van herstel watersysteem 't Klooster

Verkenning bevloeiing als gebiedsgerichte aanpak voor klimaatadaptatie

I.E. Hoving, R. Walvoort, H. Mentink en M. Pleijter

RAPPORT 1398



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Bevloeiing ten behoeve van herstel watersysteem 't Klooster

Verkenning bevoeiing als gebiedsgerichte aanpak voor klimaatadaptatie

I.E. Hoving¹, R. Walvoort¹, H. Mentink¹ en M. Pleijter²

1 Wageningen Livestock Research

2 Aequator Groen & Ruimte

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gefinancierd door Waterschap Rijn en IJssel

Wageningen Livestock Research

Wageningen, november 2022

Rapport 1398

Hoving I.E., R. Walvoort, H. Mentink en M. Pleijter, 2022. *Bevloeiing ten behoeve van herstel watersysteem 't Klooster; Verkenning bevloeiing als gebiedsgerichte aanpak voor klimaatadaptatie*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1398.

Samenvatting NL

In het waterwingebied 't Klooster is een veldexperiment uitgevoerd, waarbij in de periode van 17 januari tot 28 februari 2022 vijf graslandpercelen en één bouwlandperceel (met winterrogge als groenbemester) bevoeid werden om de bodemvocht- en grondwatervoorraad aan te vullen en droogteschade te verminderen. De percelen werden bevoeid door water vanuit oppervlaktewater via een uitvloeiingsslang op het maaiveld te pompen. Alle percelen lagen op een zandgrond, waarbij drie percelen relatief hoge grondwaterstanden en drie percelen relatief lage grondwaterstanden hadden. Gemiddeld werd hier respectievelijk 11,8 mm en 17,8 mm per dag bevoeid. In totaal werd in 43 dagen 90.628 m³ water opgepompt en bedroeg de totale bevoeide oppervlakte bijna 14,5 ha. Op de locaties binnen de percelen waar de bevloeiing het meest effectief was, werd de grondwaterstand gedurende gemiddeld 101 dagen (inclusief 43 dagen bevloeiing) verhoogd ten opzichte van een onbeïnvloede referentiepeilbuis in de omgeving.

Summary UK

A field experiment was carried out in the water extraction area 't Klooster, in which five grassland plots and one arable plot (with winter rye as catch crop) were irrigated in the period from 17 January to 28 February 2022 in order to replenish the soil moisture content and groundwater supply and reduce drought damage. The plots were irrigated by pumping water from surface water through an outflow hose to ground level. All plots were on sandy soil, with three plots having relatively high groundwater levels and three plots having relatively low groundwater levels. On average, 11.8 mm and 17.8 mm per day were irrigated here, respectively. A total of 90,628 m³ of water was pumped in 43 days and the total irrigated area amounted to almost 14.5 ha. At the locations within the plots where the irrigation was most effective, the groundwater level was raised for an average of 101 days (including 43 days of irrigation) compared to an unaffected reference monitoring well in the area.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/581419> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2022

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

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

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

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

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1398

Bron afbeelding voorpagina: Waterschap Rijn en IJssel

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Achtergrond bevoeien	10
3 Proefopzet	13
3.1 Proeflocaties	13
3.2 Bevoeiing	14
3.3 Monitoring grondwater	15
3.4 Monitoring stikstof en mineralen	16
3.5 Simulatie grasgroei	17
4 Resultaten	18
4.1 Bevoeiing en neerslag	18
4.2 Grondwaterstanden	20
4.3 Gewasontwikkeling en wormen	35
4.4 Effecten bevoeiing op stikstofuitspoeling	47
4.5 Effecten bevoeiing op mineralen	48
4.6 Modellerings grasgroei	49
5 Discussie	50
5.1 Bevoeiing en neerslag	50
5.2 Grondwaterstanden	50
5.3 Gewasontwikkeling en wormen	51
5.4 Uitspoeling nitraat	52
5.5 Modellerings grasgroei	52
6 Conclusies	53
7 Perspectief	54
8 Literatuur	56
Bijlage 1 Bodemtype percelen	57
Bijlage 2 Bodemanalyses	60
Bijlage 3 Grondwaterstanden per raai	61
Bijlage 4 Modelberekeningen	64



Woord vooraf

In het waterwingebied 't Klooster wordt meer water onttrokken dan aangevoerd, waardoor in het gebied verdroging optreedt. Mede omdat het water oppervlakkig onttrokken wordt, ondervinden agrariërs hier direct nadelige gevolgen van. Om de grondwatervoorraad aan te vullen en de droogteschade te verminderen heeft Waterschap Rijn en IJssel in 2020 het initiatief genomen om in samenwerking met melkveehouders landbouwpercelen in de winterperiode te bevoeien.

In 2021 is een pilot uitgevoerd en in 2022 is een veldexperiment opgezet om in meer detail het effect van bevoeiing te kwantificeren. Vanuit de melkveehouders was het daarbij vooral de vraag in hoeverre in het voorjaar geprofiteerd kan worden van extra capillaire nawerking van bodemvocht vanuit het grondwater.

In opdracht van Waterschap Rijn en IJssel is in 2022 een veldexperiment uitgevoerd door Agro-innovatiecentrum De Marke, dat onderdeel uitmaakt van Wageningen Livestock Research (WLR). In het voorliggende rapport is het veldexperiment uitgewerkt en hopelijk draagt de verworven kennis en inzichten bij aan het verminderen van de droogteproblematiek in 't Klooster en vergelijkbare waterwingebieden.

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



Samenvatting

In opdracht van Waterschap Rijn en IJssel is in 2022 in het waterwingebied 't Klooster een veldexperiment uitgevoerd waarbij in de winterperiode landbouwpercelen van melkveehouders bevoeid zijn om de grondwatervoorraad aan te vullen en droogteschade te verminderen. Het doel van het onderzoek was het in kaart brengen, bepalen en inzichtelijk maken van de hydrologische en enkele milieukundige en landbouwkundige effecten van bevoeiing. Het uiteindelijke hogere doel was een bijdrage leveren aan het herstel van het natuurlijk watersysteem ten gunste van landbouw, natuur en milieu. In 2021 is in hetzelfde gebied een pilot uitgevoerd, waaruit bleek dat met bevoeiing het grondwaterniveau aangevuld kon worden zonder het risico op nitraatuitspoeling te vergroten.

Op vijf graspercelen en één bouwlandperceel is vanaf 17 januari gedurende zes weken tot 28 februari 2022 water op het land gepompt om het effect op de grondwaterstand en de vochtlevering te vergroten. Alle percelen lagen op een zandgrond, waarbij vijf van de zes percelen geclassificeerd werden als een veld- of laarpodzol met een gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) tussen 75-106 cm voor perceel 1, 3, 5 en 6, en 130 cm voor perceel 2. Perceel 4 lag voor een deel op een enkeerdgrond (esgrond) met een GHG van 220 cm en voor een deel op een lager gelegen laarpodzol met een GHG van 80 cm. De proef is uitgevoerd aan de hand van twee strategieën; het vullen van het natuurlijke watersysteem 'van bovenaf' op de hogere esgronden en het verhogen van de grondwaterstand 'van onderaf' in de lage beekdalen.

Per locatie werd voor de bevoeiing het meest hoog gelegen gedeelte (NAP) van het betreffende landbouwperceel gekozen. De bevoeiing werd uitgevoerd met een systeem dat bestond uit een pomp, een aanvoerslang vanaf de pomp en een uitvloeingslang van 2 x 50 m. Op de vijf graslandpercelen werd de grondwaterstand gemonitord in zeven tot tien peilbuizen, die in een raai geplaatst waren dwars op de uitvloeingslang tot maximaal 250 m van de slang. Op het bouwlandperceel 6 werd de grondwaterstand in één peilbuis gemonitord. Voor en na bevoeiing werden grondmonsters genomen om het effect op nitraatuitspoeling en de mineralenhuishouding vast te stellen. Het effect van bevoeien op de grasopbrengst is niet gemeten, maar werd gesimuleerd met de webapplicatie GrasSignaal van WLR.

Tijdens de periode van bevoeien viel in totaal 134 mm neerslag. Dit was gemiddeld 3,1 mm per dag en leidde tot een grondwaterstandstijging van ruim 60 cm in de referentiepeilbuizen buiten het bevoeiingsgebied. Op de proefpercelen 1, 3 en 5 met relatief hogere grondwaterstanden werd gemiddeld 11,8 mm per dag bevoeid en op de percelen 2, 4 en 6 met relatief diepere grondwaterstanden werd gemiddeld 17,8 mm per dag bevoeid. Zonder perceel 2, waar de infiltratie beperkt werd door bodemverdichting, was dit gemiddeld 1277 mm of 30 mm per dag. In totaal is op de zes percelen met een totale oppervlakte van bijna 14,5 ha 90.628 m³ bevoeid. Dit is 626 mm of gemiddeld 14,6 mm per dag.

Door de veelal aanzienlijk hoogteverschillen binnen de proefpercelen trad afstroming van water naar laag gelegen delen van de percelen op, waardoor op een aantal plaatsen water op het maaiveld kwam te staan. Daar waar het gras langere tijd geheel onder water heeft gestaan leidde dit tot een beperkte schade aan de graszode in de vorm van een verminderde grasbezetting en een vertraagde start van de grasgroei. Bevoeien leidde niet tot een groter verlies aan minerale stikstof. Bevoeiing leidt eerder tot een verlaging van nitraat in het grondwater door een verdunningseffect.

Gemiddeld over de proefpercelen verhoogde bevoeiing de grondwaterstand met 74 cm, op de plaats waar het effect op de grondwaterstand het hoogst was ten opzichte van een referentiepeilbuis in de omgeving. Dit was gemiddeld op 59 m van de uitvloeingsbuis, echter dit hield nauw verband met lage plekken in de percelen waar het meeste water infiltreerde en het effect op de grondwaterstand het grootst was. De grondwaterstandverhoging duurde gemiddeld 101 dagen. Het berekende aantal dagen met een verminderde beperking van de vochtbeschikbaarheid in de wortelzone voor grasland bedroeg gemiddeld 15 dagen. Volgens de modelberekeningen reduceerde de grasgroei tijdens en direct na bevoeien en werd uiteindelijk de grasopbrengst verhoogd (minder droogte) met 580 kg droge stof per ha. De variatie in resultaten tussen percelen was echter groot. Zie Tabel 1 voor een overzicht van de resultaten.

Vooraf op (hogere) percelen met een relatief lage grondwaterstand heeft bevoeien potentie voor herstel van het natuurlijk watersysteem. Voor een grotere invloedsfeer en het daadwerkelijk kunnen bijgedragen aan het herstel van het natuurlijk watersysteem zou het areaal bevoeiing nog aanmerkelijk vergroot moeten worden. Geïnventariseerd moet worden op welke schaal bevoeiing het grondwater substantieel aanvult. Het opbrengen van water kost echter veel energie. Het verdient aanbeveling om te zien of het energieverbruik voor het oppompen van water verminderd of verduurzaamd kan worden en of er alternatieve mogelijkheden zijn om infiltratie te bevorderen. Op relatief lage percelen is sub-irrigatie direct vanuit oppervlaktewater te overwegen, temeer omdat hier sneller groeireductie en schade aan de graszode optreedt.

Tabel 1 *Gemeten: verhoging grondwaterstand, het aantal extra dagen met een verhoogde grondwaterstand ten opzichte van een referentie peilbuis in de omgeving (inclusief 43 dagen bevoeiing) voor de afstand tussen de uitvloeibuis en laagtes in het maaiveld, waarbij het effect op de grondwaterstand het grootst was. Berekend: het verminderde aantal dagen waarvoor vochtlimitatie optrad en de verhoogde grasopbrengst door bevoeiing. Per perceel is aangegeven welke bevoeiingsstrategie is gehanteerd; het vullen van het natuurlijke watersysteem 'van bovenaf' op de hogere esgronden en het verhogen van de grondwaterstand 'van onderaf' in de lage beekdalen.*

Perceel	Gemeten			Berekend	
	Afstand tussen uitvloeibuis en laagtes met grootste effect op grondwaterstand	Maximale verhoging grondwaterstand	Extra dagen verhoging grondwaterstand vanaf 17-01-2022	Minder dagen vochtlimitatie	Verhoogde grasopbrengst tot 10 juni 2022
	(m)	(cm)	(#)	(#)	(kg ds.ha ⁻¹)
1 (onderaf)	50	88	102	10	363
2 (bovenaf)	25	88	116	16	1338
3 (onderaf)	125	98	165	7	384
4 (bovenaf)	100	109	81	38	684
5 (onderaf)	50	26	81	3	131
6 (bovenaf)	6	33	60	-	-
Gemiddeld	59	74	101	15	580

1 Inleiding

De groeiseizoenen van 2018, 2019 en 2020 werden gekenmerkt door een groot neerslagtekort, waardoor extreme droogte optrad. Deze droogte was nadelig voor zowel landbouw als natuur. Agrariërs hadden te maken met sterk gereduceerde gewasopbrengsten en ook in de natuur was het effect van droogte duidelijk zichtbaar. Waterschap Rijn en IJssel heeft in 2020 als reactie op deze droogte het slootwaterpeil rondom Varsse, nabij waterwingebied 't Klooster verhoogd. Het verhogen van het waterpeil leidde ertoe, dat vooral langs de perceelsranden de groei van gras en mais gestimuleerd werd.

Deze ervaring leidde tot de gedachte dat het verzadigen van de bodem in de winter en het vroege voorjaar, de vochtbeschikbaarheid bij een neerslagtekort vroeg in het groeiseizoen zou kunnen vergroten. Vanuit die gedachte is in 2021 in het gebied t 'Klooster een bevoeiingspilot uitgevoerd, om te zien of de bodemvochtvoorraad en het grondwaterniveau aangevuld konden worden om zo de waterkwantiteit en kwaliteit in het gebied te verbeteren. Bevloeiing bleek perspectiefvol om het grondwaterniveau aan te vullen zonder een verhoogd risico op nitraat uitspoeling. In 2021 werd geen verschil in gewasopbrengst waargenomen, dit kwam mede door een neerslagoverschot na de bevoeiing. Bevloeiing leidde dus in 2021 niet tot een grotere bodemvochtlevering aan de gewassen dan de referentie. In 2021 werd op 5 percelen gedurende twee weken bevoeiing toegepast waarbij op één perceel 162 mm/dag kon worden bevoeid. Het grondwaterniveau steeg tijdens het bevoeien, echter daalde het grondwaterniveau vrij snel na het stoppen van bevoeien. Hierdoor konden de gewassen niet profiteren van capillaire opstijging van bodemvocht vanuit het verhoogde grondwaterniveau. Dit kwam mede doordat er op relatief kleine schaal is bevoeid en het grondwaterniveau snel nivelleerde met dat in de omgeving. Bevloeiing leek niet te leiden tot een verhoogd risico op nitraatuitspoeling.

De resultaten in 2021 waren aanleiding om in het waterwingebied 't Klooster in 2022 de bevoeiing op grotere schaal en gedurende langere tijd uit te voeren. Het doel van het onderzoek was het in kaart brengen, bepalen en inzichtelijk maken van de hydrologische, milieukundige en landbouwkundige effecten van bevoeiing. Het uiteindelijke hogere doel is een bijdrage leveren aan het herstel van het natuurlijk watersysteem ten gunste van landbouw, natuur en milieu. Dit is gericht op minder afvoer van water en het vergroten van de waterinfiltratie, waarbij de bodem centraal staat. De analyse in hoeverre het bevoeiing hiertoe bijdraagt werd door het waterschap zelf uitgevoerd.

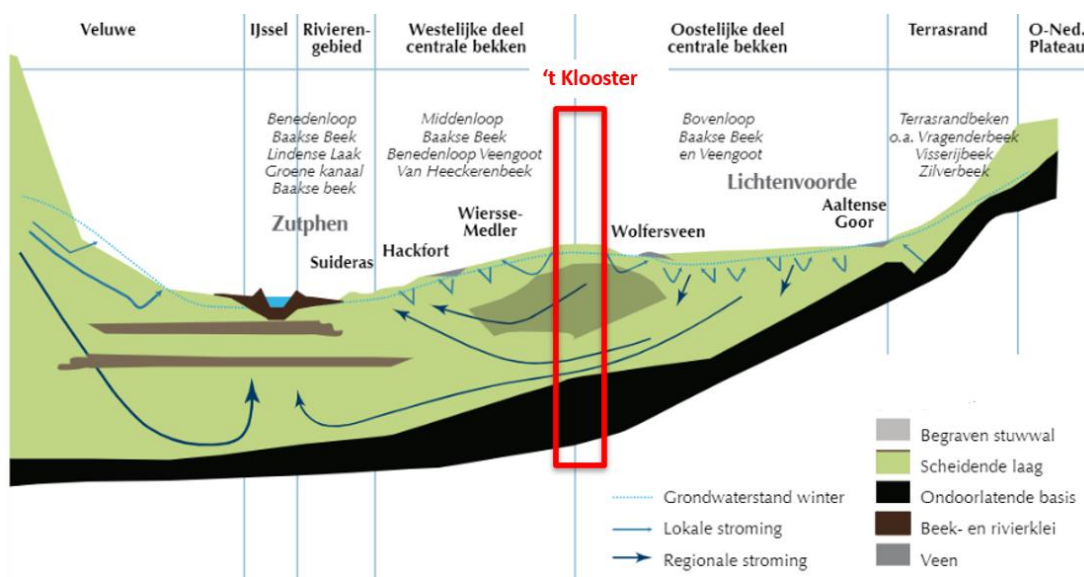
Op vijf graspercelen en een bouwlandperceel is vanaf half januari gedurende zes weken water op het land gepompt om het effect op de grondwaterstand en de vochtlevering te vergroten. De vragen die hierbij gesteld werden waren:

- Tot welke afstand van bevoeiing kan het grondwaterniveau worden beïnvloed?
- Hoeveel mm kan er gemiddeld maximaal per ha per dag worden bevoeid zonder zijwaartse afstroming naar lager gelegen delen zoals sloten?
- Hoeveel water kan er theoretisch worden vast gehouden in een evenwicht situatie op basis van bodemprofiel kenmerken.
- Wat zijn de effecten op grondwaterkwaliteit in de vorm van nitraatuitspoeling?
- Kan d.m.v. bevoeiing het grondwaterniveau dermate worden aangevuld dat er tot eind mei een capillaire flux naar de gewassen mogelijk is van 2 mm/dag?
- Wat is het gewasproductiepotentieel wanneer een capillaire flux van 2mm/dag mogelijk is?
- Hoelang kan het gewas profiteren van de capillaire flux en hoeveel mm extra water heeft dit aangevoerd?

Het resultaat van het veldexperiment in 2022 is een bepaling van het effect van bevoeiing op de grondwaterstand, het milieukundige effecten betreffende het verlies aan nutriënten en een bepaling van de landbouwkundige effecten optreden bij het op grote schaal bevoeien van landbouwgrond. De resultaten staan in het voorliggende rapport en verder wordt een doorkijk gegeven in de perspectieven van bevoeiing voor herstel van het watersysteem.

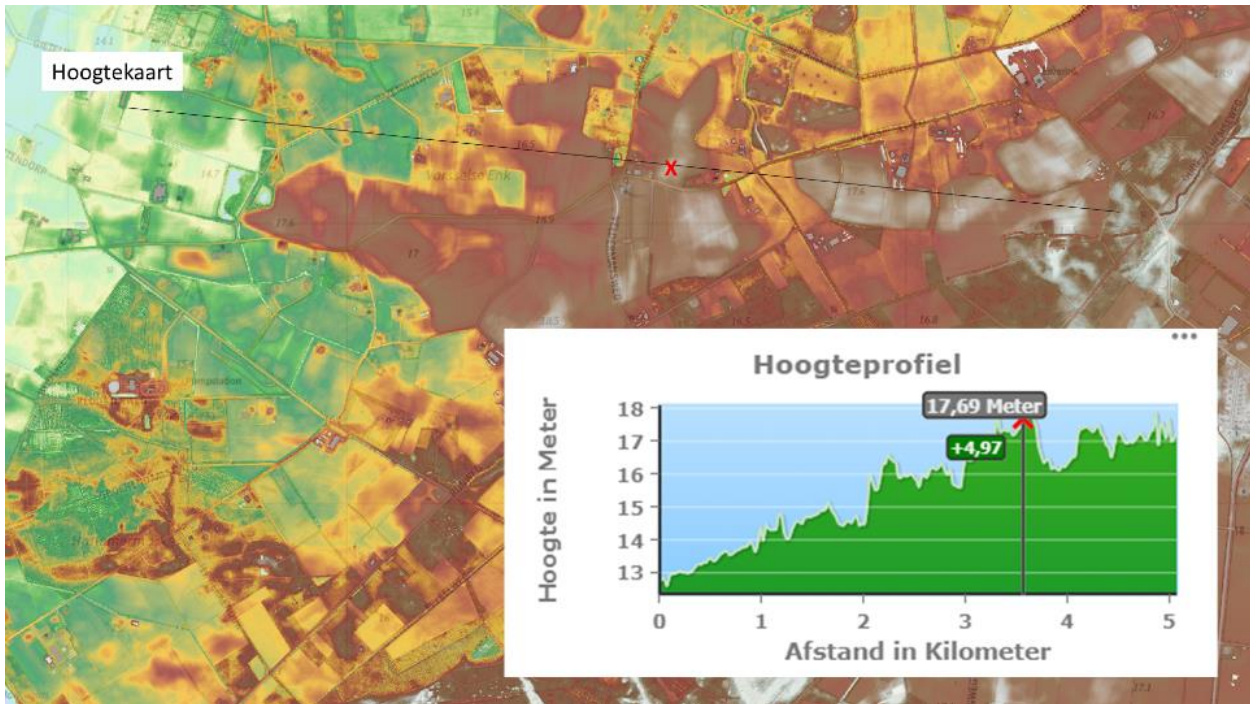
2 Achtergrond bevoeien

Uit het waterwingebied 't Klooster wordt jaarlijks circa 5,4 miljoen kubieke meter water uit het freatische grondwater gewonnen. De winning is gestart in 1964 en sinds december 1997 wordt aan verdrogingsbestrijding in de omgeving van deze winplaats gedaan, door in het winterhalfjaar water het gebied in te pompen via de watergang de 'Veengoot'. Het water wordt verdeeld door middel van een slotenstelsel rondom de winplaats en het zoveel mogelijk vasthouden van water in het gebied. De infiltratievoorziening wordt gevuld met water vanuit de Veengoot via het gemaal 't Klooster. Er wordt alleen water ingelaten als er ook afvoer aanwezig is in de Veengoot. Uit veldinventarisaties door het waterschap is gebleken dat het vanuit de sloten infiltrerende water een beperkte uitstraling heeft naar de langs liggende (landbouw-)percelen. Binnen een afstand van ca 10 meter vanuit de slootkant verdwijnt het effect op de grondwaterstand (kerstboomeffect). De aanvulling vanuit neerslag bedraagt jaarlijks gemiddeld circa 1,5-2,0 miljoen kubieke meter. Het grondwaterniveau wordt niet aangevuld door lokale- en regionale grondwaterstromingen, omdat het gebied hoger ligt dan de omgeving. Hierdoor treedt eerder afvoer van water op dan dat water wordt aangevoerd. In Figuur 1 staat een dwarsdoorsnede van het gebied.



Figuur 2.1 Dwarsdoorsnede van de regio waar waterwingebied 't Klooster is gelegen (rode kader). Bron Waterschap Rijn en IJssel.

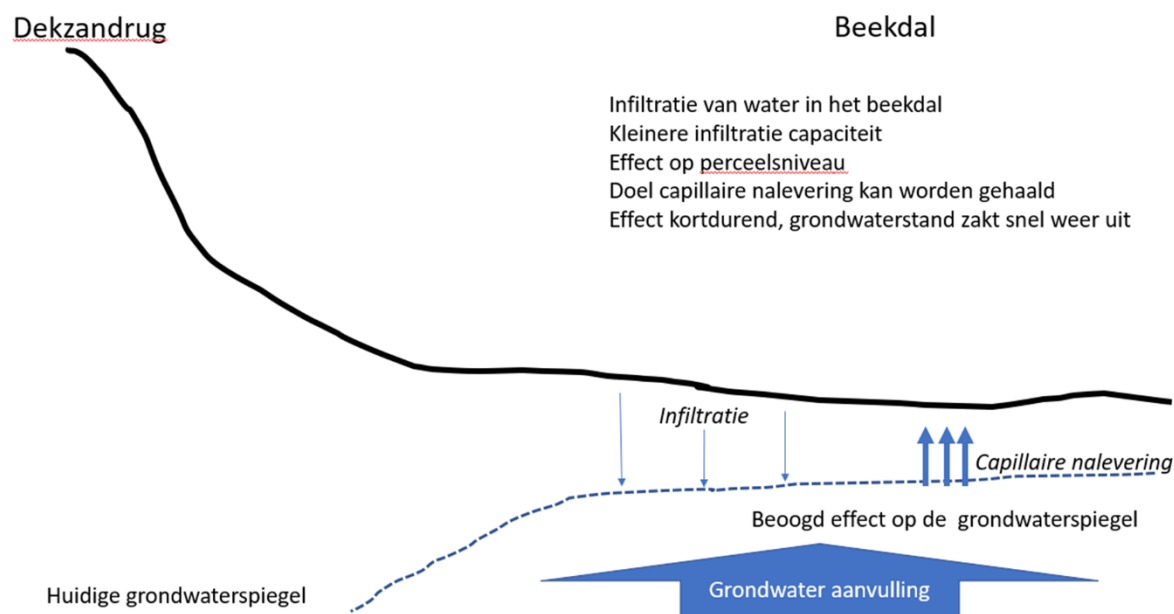
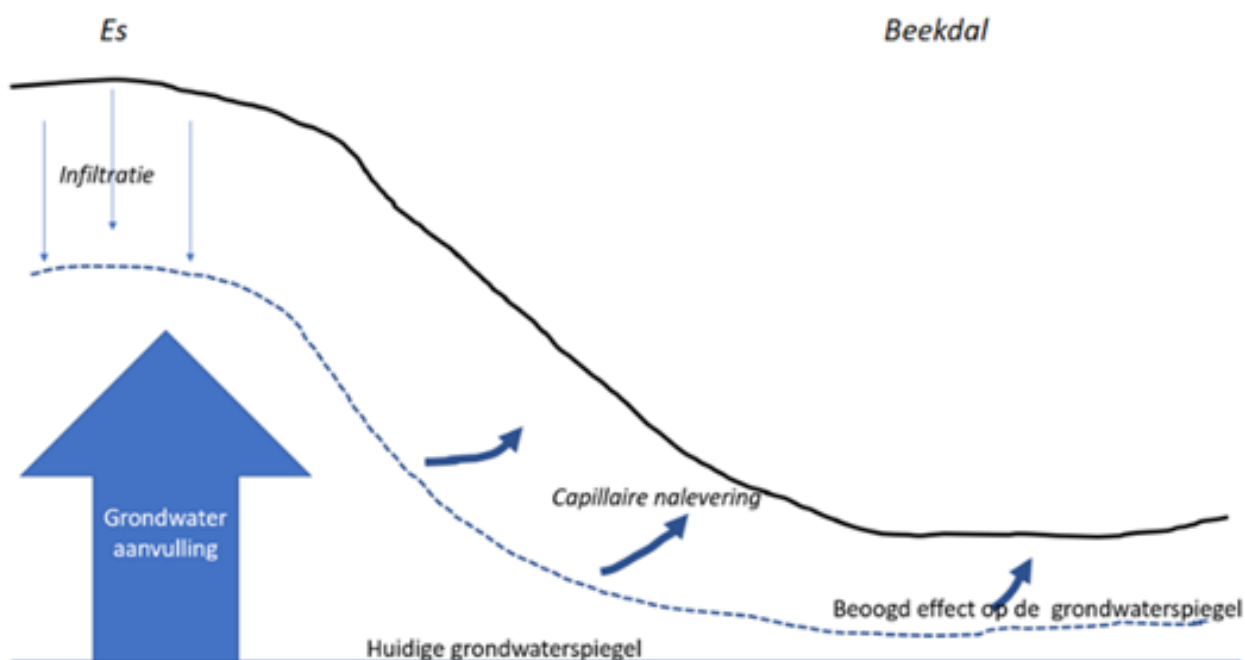
In het natuurlijk watersysteem vindt infiltratie van regenwater plaats op de hoger gelegen veldpodzol- en enkeerdgronden (esgrond) en komt het grondwater op de beekdalgronden weer naar de oppervlakte. Ten opzichte van het maaiveld zijn de grondwaterstanden op de esgronden relatief diep en op de beekdalgronden relatief hoog. In een periode met veel neerslag kan zich onder de hogere gronden een grondwatervoorraad opbouwen, waardoor een grondwaterstroming optreedt van de hoge naar de lage gronden. Deze grondwaterstroming worden beschouwd als het natuurlijk watersysteem. De lage gronden waar het grondwater naar toe stroomt zijn de actieve delen van het natuurlijke watersysteem. In 't Klooster ligt in de winter echter het grondwaterniveau op de hogere esgronden op dezelfde diepte als in de lager gelegen beekdalen, waardoor geen grondwaterstroming plaatsvindt van de hoge delen naar de lage delen in het landschap. Ook de lage beekdalgronden, bevinden zich het gehele jaar in een infiltratiesituatie. In Figuur 2.2 staat een hoogtekaart van het waterwingebied met een hoogteprofiel dat een hoogteverschil van bijna 5 m laat zien voor de geprojecteerde raai.



Figuur 2.2 Hoogtekaart waterwingebied t' Klooster met een hoogteprofiel voor de aangegeven raai (stippellijn). De groen- en bruintinten op de hoogtekaart geven respectievelijk de lager en hoger gelegen gronden weer. De rode x geeft het hoogste punt aan op de raai.

Naast infiltratie via het slotenstelsel, dat op de Veengoot aangesloten is, kan mogelijk ook het grondwaterniveau aangevuld worden door landbouwpercelen tijdelijk te bevoeien. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van het water dat door middel van de Veengoot wordt aangevoerd. Bevoeiing kan zowel op es- als beekdalgronden, waarbij op een beekdalgrond waarschijnlijk het grondwaterniveau eerder aangevuld is, doordat het grondwaterniveau hoger is. Op de esgronden kan waarschijnlijk meer water geïnfilteerd worden doordat enerzijds het grondwaterniveau lager is en anderzijds esgronden hoger liggen ten opzichte van de omgeving en via grondwaterstromingen ook het grondwater van omliggende beekdalgronden wordt aangevuld.

Het doel van de veldproef was om de grondwatervoorraad in het gebied zodanig te vergroten dat het natuurlijke watersysteem weer actief wordt. Met het natuurlijke watersysteem wordt de grondwaterstroming bedoeld die optreedt van de hogere gronden (infiltratie gebieden) naar de lagere gebieden (potentiële kwelgebieden). De actieve delen in het natuurlijke watersysteem zijn gronden waar toestroom van grondwater plaatsvindt. De proef is uitgevoerd aan de hand van twee strategieën; het vullen van het natuurlijke watersysteem 'van bovenaf' op de hogere esgronden en het verhogen van de grondwaterstand 'van onderaf' in de lage beekdalen. Bij het aanvullen van onderaf wordt geprobeerd om de grondwaterstand zo ver te laten stijgen dat capillaire nalevering vanuit het grondwater kan plaatsvinden. Bij van bovenaf vullen wordt geprobeerd om in de hoge delen van het landschap een grondwatervoorraad te creëren, van waaruit de grondwaterstroming naar de lage delen in het landschap zich kan herstellen. Zodoende op de hogere esgronden de potentie voor systeemherstel het grootst. In Figuur 2.3 staat een schematische dwarsdoorsnede van 't Klooster met hoogte verschillen (es en beekdal) met een relatief vlak grondwaterniveau en het beoogde effect van zowel bovenaf als onderaf bevoeien.



Figuur 2.3 Schematische dwarsdoorsnede van 't Klooster met een relatief vlak grondwaterniveau en de potentie van grondwateraanvulling met boven infiltratie 'van bovenaf' op een hoger gelegen esgrond en onder 'van onderaf' in een lager gelegen beekdal.

3 Proefopzet

3.1 Proeflocaties

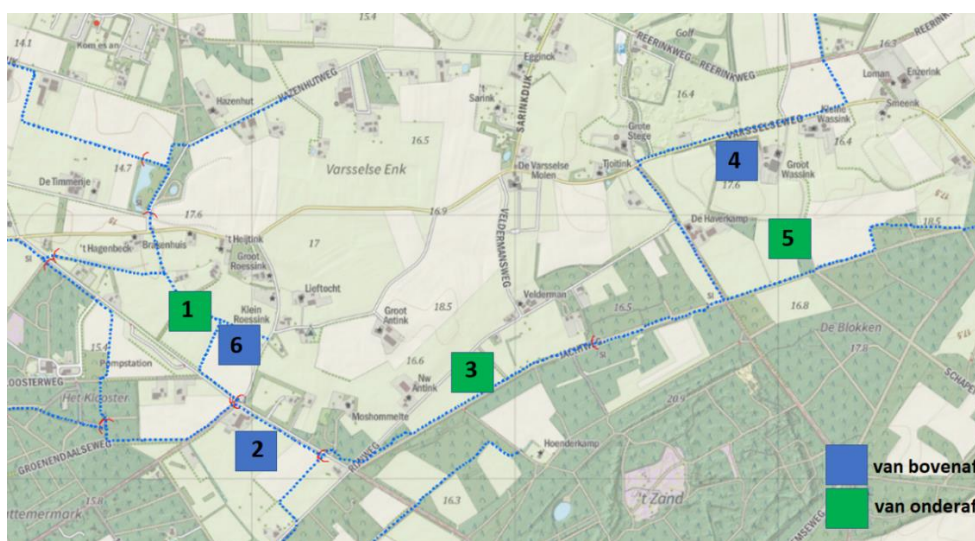
Voor het veldexperiment met bevoeien in 2022 zijn in het waterwingebied 't Klooster op vijf agrarische bedrijven vijf graspercelen en één bouwlandperceel geselecteerd aan de hand van analyses van de maaielhoogete-, de bodemkenmerken en het natuurlijk watersysteem door het Waterschap Rijn en IJssel.

Alle percelen lagen op een zandgrond, waarbij vijf van de zes percelen geclassificeerd werden als een veld- of laarpodzol met een gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) tussen 75-106 cm voor perceel 1, 3, 5 en 6, en 130 cm voor perceel 2. Perceel 4 lag voor een deel op een enkeerdgrond met een GHG van 220 cm en voor een deel op een lager gelegen laarpodzol met een GHG van 80 cm. In Tabel 2 staat een overzicht van de kenmerken van de percelen inclusief de kritieke z-afstand voor de capillaire opstijging van bodemvocht uit het grondwater ter grootte van 2 mm in- en exclusief de worteldiepte. Hierbij is gebruik gemaakt van de detailbodemkaart (Kleinsman et al., 1973). Hoewel de GxG van deze kaart verouderd is, geeft het wel de ligging van het perceel in het natuurlijke watersysteem goed weer. In de huidige situatie kan de GxG dicht bij de winning tot 150 cm zijn gedaald. Een verdere beschrijving van de bodemtypering van de proeflocaties staat in Bijlage 1.

Tabel 2 GHG, GLG, kritieke z-afstand 2mm (Kz) in cm en bodemcodes (Kleinsman et al, 1973).

Kenmerk	Perceel 1	Perceel 2	Perceel 3	Perceel 4-hoog	Perceel 4-laag	Perceel 5	Perceel 6
GHG (cm)	75	130	105	220	105	80	106
GLG (cm)	192	280	225	>350	225	200	220
Kz (cm)	109	109	109	95	109	106	109
Bodemcodes	tZg55 - V	Hn53 - VI	Hn53 - VI	E53 - VIII	cHn53 - V	Hn53 - VI	Hn52 - VI

Het bevoeien op de hoger en lager gelegen delen werd door Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ) respectievelijk aangeduid met 'bevoeien van bovenaf' en 'bevoeien van onderaf'. De geselecteerde proeflocaties staan in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Ligging van de proeflocaties in het veldexperiment met bevoeiing in het waterwingebied 't Klooster. Drie locaties lagen in lager gelegen beekdalen (groen) en drie locaties lagen op hoger gelegen esgronden (blauw).

3.2 Bevloeiing

Per locatie werd voor de bevloeiing het meest hoog gelegen gedeelte (NAP) van het betreffende landbouwperceel gekozen. De bevloeiing werd uitgevoerd met een systeem dat bestond uit een pomp, een aanvoerslag vanaf de pomp en een uitvloeings slang van 2 x 50 m. In Figuur 3.2 staat ter illustratie een afbeelding van een uitvloeings slang en een aanvoerslag.



Figuur 3.2 Links: Uitvloeings slang van 2x50 m. Rechts: aanvoerslag vanaf pomp.

In 2021 zijn er pompen met een capaciteit tot 200 m³ per uur gebruikt met 5 uitlopen per pomp, echter deze capaciteit bleek te hoog. Door de snelle aanvoer had het water te weinig tijd voor ruimtelijke verdeling en infiltratie. Daardoor stroomde veel van het opgepompte water weg naar nabij gelegen laagtes of sloten. Zodoende is in 2022 gekozen om druppelirrigatiepompen te gebruiken met een lagere capaciteit van 25-30 m³ per uur (zie Figuur 3.3).



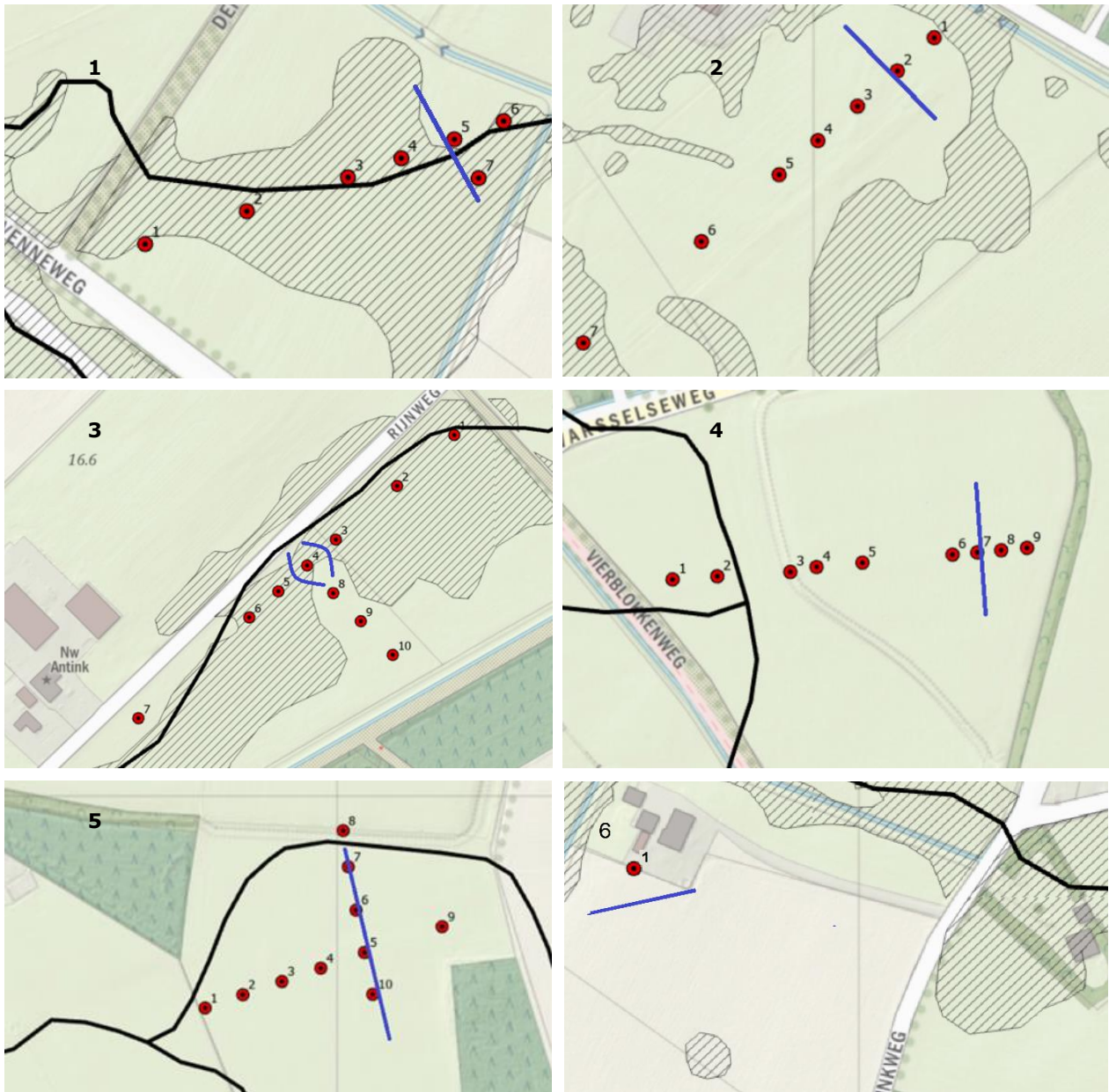
Figuur 3.3 Dieselgenerator met druppelirrigatie pomp en een aanzuig slang in een watervoerende sloot.

Door de combinatie van een lagere pompcapaciteit en een uitvloeings slang van 100 m werd het water goed verdeeld en kon een groot infiltratiegebied gerealiseerd worden. Doordat de pompen praktisch continu draaiden werd het infiltratiegebied gedurende de gehele bevloeiing beheerst gevoed, zodat een maximale infiltratie gerealiseerd werd. De pompen werden alleen uitgezet wanneer het opgebrachte water wegstroomde richting een nabij gelegen sloot. Veelal was dat ten tijde van neerslag. De bevloeiing is uitgevoerd in de periode van 17 januari tot en met 28 februari 2022.

3.3 Monitoring grondwater

Op de vijf graspercelen is de grondwaterstand intensief gemonitord door middel van metingen in meerdere peilbuizen op het perceel. Op het bouwlandperceel was slechts één peilbuis geplaatst in verband met ploegen in het voorjaar en het langer doorlopen van de meetreeks tot laat in het voorjaar.

Om de effecten te meten welke bevloeiing heeft op het grondwaterniveau op verschillende afstanden van de uitvloeislang, zijn door WRIJ op elk proefveld meerdere peilbuizen geplaatst. Zie voor een overzicht van de geplaatste uitvloeislangen en peilbuizen Figuur 3.4.



Figuur 3.4 Overzicht plaatsing uitvloeislangen (blauw) en peilbuizen (rood) per proefperceel (1-6).

De grondwaterstand is wekelijks gemeten gedurende de periode van 17 januari tot en met 10 juni 2022. Op de proefpercelen 2, 4 (lagere grondwaterstanden) werden peilbuizen op één raai geplaatst met een onderlinge afstand van 25-50 meter. Op de proeflocaties 1, 3 en 5 met hogere grondwaterstanden werden de peilbuizen zowel in lijn als haaks op de uitvloeijing geplaatst, om ook het effect op de grondwaterstand in de breedte te kunnen monitoren. De eerste meting op 17 januari is uitgevoerd voordat de bevloeiing in gang gezet werd. De bevloeiing werd op 28 februari gestopt.

Op de percelen met een relatief hoge GHG kan langer van een hogere grondwaterstand geprofiteerd wanneer deze zich bevindt binnen de kritieke grens voor capillaire opstijging van bodemvocht vanuit het grondwater (kritieke z-afstand). In de analyse van de grondwaterstandsdata is bekeken in hoeverre bevoeiing bijdroeg aan het vergroten van de capillaire opstijging (blijft de grondwaterstand boven de kritieke z-afstanden en werd de periode ten opzichte van de referentie situatie zonder bevoeiing verlengd).

3.4 Monitoring stikstof en mineralen

Op de 5 graspercelen zijn voor de monitoring van stikstof (N) en mineralen in de bodem proefvakken van 12x12 m met piketten uitgezet. Per locatie 1 vak op een gedeelte van het perceel dat buiten de invloedssfeer van de bevoeiing lag (referentie) en 1 vak op een gedeelte dat volledig bevoeid werd (behandeling). In het totaal waren dit 10 proefvakken en deze staan in Figuur 3.6.



Figuur 3.6 *Overzicht proeflocaties met proefvakken voor bodemanalyses. Oranje vierkant: proefvak op bevoeiingsveld. Gele vierkant: proefvak buiten invloedssfeer bevoeiing (referentie).*

De bevoeiings- en de referentievakken zijn bemonsterd op minerale stikstof (N-min), calcium en magnesium in de bodem (Tabel 3). Een vermindering van N-min in de bodem is een indicatie voor stikstofverlies, met in het bijzonder uitspoeling van nitraat naar het grondwater. Een verlaging van de concentraties mineralen kunnen nadelig zijn voor de bodemstructuur.

De bemonstering is uitgevoerd voor het aanvangen van de bevoeiing en een dag na het stoppen van de bevoeiing. De N-min bemonstering voor aanvang werd tevens gebruikt om te beoordelen of de bevoeiingslocatie onder de kritische grens van $92 \text{ kg N-min. ha}^{-1}$ zat, omdat bij hogere concentraties het risico overschrijding van de nitraatnorm van 50 mg.l^{-1} voor het grondwater groot is (Fraters et al., 2007). Voor N-min werden bodemonsters gestoken in de bodemlaag 0-30, 30-60 en 60-90 cm en voor de mineralen in de bodemlaag 0-20 cm. De bodemanalyses zijn geanalyseerd door Eurofins Agro.

Tabel 3 Bodemanalyses proefpercelen bodemlaag 0-20 cm bemonsterd op 14-01-2022.

Analyse	Perceel 1		Perceel 2		Perceel 3		Perceel 4		Perceel 5	
	Bevl.	Ref.	Bevl.	Ref.	Bevl.	Ref.	Bevl.	Ref.	Bevl.	Ref.
N-bodemvoorraad (kg N.ha ⁻¹)	3930	5160	5010	7240	5400	4900	6160	5990	6080	6500
N-leverend vermogen (kg N.ha ⁻¹)	125	150	150	180	155	140	160	155	165	165
P-plantbeschikbaar (Kg P.ha ⁻¹)	6,4	5,9	7,3	3,9	4,4	3	9,7	5,4	5	4,1
P-bodemvoorraad (Kg P.ha ⁻¹)	465	445	570	580	585	635	645	415	615	650
K-plantbeschikbaar (Kg K.ha ⁻¹)	65	60	200	165	195	155	190	110	170	185
K-bodemvoorraad (Kg K.ha ⁻¹)	180	145	300	310	280	255	215	180	345	385
Calcium (Kg Ca.ha ⁻¹)	65	130	20	155	205	120	20	20	40	40
Magnesium (Kg Mg.ha ⁻¹)	180	190	240	330	230	250	420	350	310	410
Zuurgraad (pH)	5,7	5,4	5,6	5,7	5,7	5,3	5,2	5	5,9	5,7
Organische stof (%)	3,7	3,7	4,9	6,8	4,9	5,6	6,9	6,6	5,6	7,1
Klei (%)	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2
Silt (%)	5	12	9	13	13	9	12	16	15	15
Zand (%)	90	83	85	79	80	83	80	75	78	76
Klei-humus (CEC) (mmol.kg ⁻¹)	49	45	55	89	54	70	78	58	67	99
CEC-bezetting (%)	100	98	100	96	100	90	84	92	95	99

3.5 Simulatie grasgroei

Om een inschatting te krijgen in het effect van bevloeiing op de grasproductie zijn simulaties voor blijvend (ouder) grasland uitgevoerd met het programma (prototype webapplicatie) GrasSignaal. Het programma voorspelt via het intekenen van percelen op het internetplatform Akkerweb (<https://akkerweb.eu>) de opbrengst en kwaliteit van gras, gegeven bodemtype, worteldiepte, hydrologische kenmerken (GHG, GLG, kwel/wegzijing, slootdiepte, slootweerstand en slootpeil), neerslag, verdamping, N-bemesting en het graslandgebruik (weiden en maaien). Voor grasgroei maakt het programma gebruik van het empirische grasgroeimodel GRAS2007 (Holshof G. and A. van den Pol-van Dasselaar, 2014). Voor het simuleren van de bodemvochttoestand van de wortelzone en de grondwaterstand maakt het programma gebruik van het hydrologische model WATBAL (Berghuis-van Dijk, 1985). Als uitvoer genereerde GrasSignaal een bodemvochtbalans, een grondwaterstandsverloop, de drogestofopbrengst van gras en de voederwaardekenmerken van het gras.

Het programma betreft de bodem- en hydrologieparameters van een Geoservice van Wageningen Environmental Research en de neerslag en verdamping van een service van Akkerweb die data van IBM betreft. De hoeveelheid bevloeiing werd apart ingevoerd als een hoeveelheid berekening in mm per dag, voor zowel bevloeien 'van boven af' als 'van onderaf'. Volgens de mestwetgeving mag drijfmest vanaf 15 februari worden uitgereden. Doordat de bevloeiing uitgevoerd is in de periode van 17 januari tot 28 februari is in de simulaties de bemesting van de bevloeiende percelen uitgesteld tot 7 maart. De referentiepercelen zijn bemest op 15 februari. De bemestingshoeveelheden zijn voor beide behandelingen hetzelfde gehouden, te weten 30 m³ en 15 m³ rundveedrijfmest en 200 en 150 kg.ha⁻¹ KAS voor respectievelijk de 1^e en 2^e snede. Tevens is het graslandgebruik voor de referentie en bevloeiende gelijk gehouden (uitsluitend maaien), om de berekende verschillen in grasopbrengst volledig toe te kunnen kennen aan wel of niet bevloeiende. In de praktijk was de bemesting en het graslandgebruik verschillend tussen de behandelingen. Er was niet voorzien in opbrengstbepalingen. Zodoende konden de gesimuleerde opbrengsten niet vergeleken worden met de gerealiseerde opbrengsten.

4 Resultaten

4.1 Bevloeiing en neerslag

De oppervlakte en de hoeveelheden water die in de periode van 17 januari tot en met 28 februari 2022 (43 dagen) op de proeflocaties is gebracht staan in Tabel 4. De watergift gedeeld door de oppervlakte bevloeiing x 1000 resulteerde in het aantal mm bevloeid en de hoeveelheid bevloeid gedeeld door het aantal dagen resulteerde in het aantal mm bevloeiing per dag.

Tabel 4 Periode bevloeiing, totale watergift, oppervlakte, hoeveelheid bevloeid totaal en bevloeid per dag per proefperceel, voor de percelen met een relatief hoge grondwaterstand (subtotaal 1-3-5; 'van onderaf'), voor de percelen met een relatief lage grondwaterstand (subtotaal 2-4-6; 'van bovenaf') en het totaal van de zes proefpercelen.

Perceel	Aantal dagen (#)	Watergift (m ³)	Oppervlakte (m ²)	Bevloeid (mm)	Bevloeid (mm.dag ⁻¹)
1	43	10634	18900	563	13,1
2	43	20672	42700	484	11,3
3	43	16905	30500	554	12,9
4	43	20447	16400	1247	29,0
5	43	12173	28700	424	9,9
6	43	9797	7500	1306	30,4
Subtotaal 1-3-5 ('van onderaf')	43	39712	78100	508	11,8
Subtotaal 2-4-6 ('van bovenaf')	43	50916	66600	765	17,8
Totaal	43	90628	144700	626	14,6

De totale hoeveelheid bevloeiing bedroeg 90628 m³ op bijna 14,5 ha. Dit is 626 mm of gemiddeld 14,6 mm per dag. De proefpercelen 1, 3 en 5 hadden een relatief hoge grondwaterstand (lagen relatief laag) en daar is respectievelijk 13,1, 12,9 en 9,9 mm per dag bevloeid. De bevloeiing op perceel 5 was met gemiddeld 9,9 mm per dag relatief laag en werd verklaard door afstroming van water richting de sloot van waaruit water opgepompt werd. Gemiddeld was de hoeveelheid bevloeiing voor bevloeien 'van onderaf' in het totaal 508 mm of 11,8 mm per dag. De proefpercelen 2, 4 en 6 hadden een relatief lage grondwaterstand (lagen relatief hoog). Op perceel 4 en 6 kon daardoor aanmerkelijk meer water geïnfiltreerd worden, respectievelijk 29,0 en 30,4 mm per dag. Perceel 2 had in totaal de hoogste watergift door de relatief grote oppervlakte, maar de gemiddelde hoeveelheid bevloeiing per dag was geringer, namelijk 11,3 mm. Gemiddeld was de hoeveelheid bevloeiing voor bevloeien 'van bovenaf' in het totaal 765 mm of 17,8 mm per dag.

In Figuur 4.1 staan afbeeldingen van de bevloeiende percelen die gemaakt zijn in de derde week van bevloeiing.

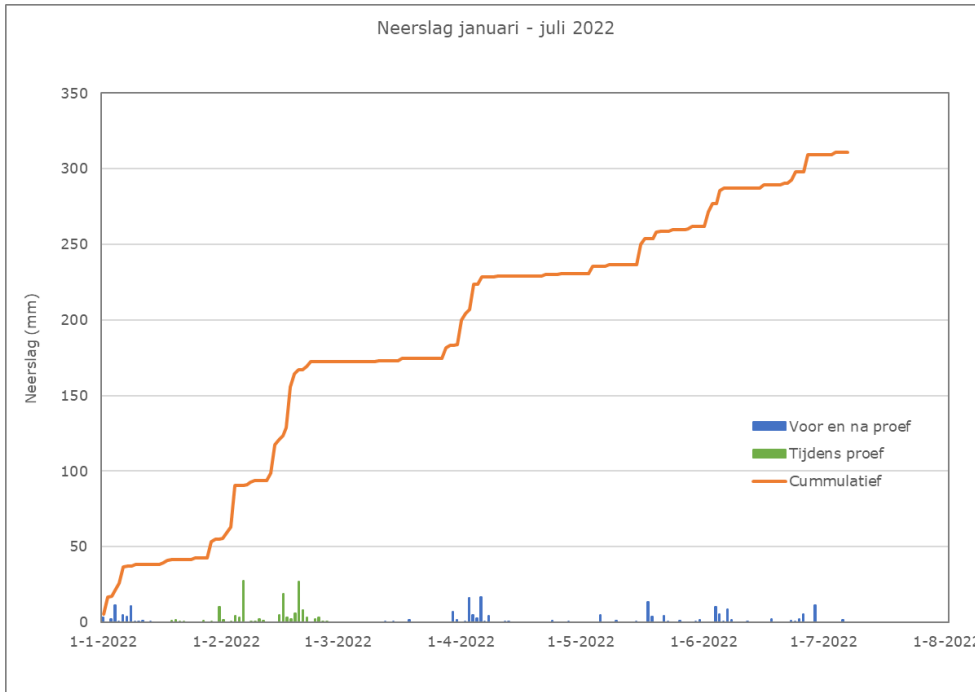


Figuur 4.1 Bevloiede percelen met boven respectievelijk perceel 1 en 2, midden respectievelijk perceel 3 en 4 en onder respectievelijk perceel 5 en 6.

Op perceel 1 is de lager gelegen baan midden door het perceel waar water bleef staan goed te zien. Het gebied waar water bleef staan werd gedurende de bevoeiingsperiode steeds groter. Ook perceel 2 werd gekenmerkt door hoogteverschillen waardoor water op het land bleef staan. De bevloiede oppervlakte was met 4,27 ha relatief groot. Op perceel 3 was de uitvloeiing van het opgepompte water relatief gelijkmatig. Alleen in de uiterste hoek aan de oostkant van het perceel bleef water staan in een lager gelegen gedeelte. Perceel 4 werd kenmerkt door een hogere ligging (esgrond) van ongeveer 1 meter ten opzichte van naastgelegen percelen aan de Vierblokkenweg. In de tweede week van de bevoeiing was de bodem aan de rand van het perceel dermate verzadigd dat water vanuit de bodem wegstroomde naar een laag gelegen perceel ernaast. De rand van het perceel dreigde hierdoor instabiel te raken. De pompcapaciteit is daarop naar beneden bijgesteld. Het infiltreren veroorzaakte slechts weinig plasvorming door de redelijk vlakke ligging. Ook op perceel 5 trad relatief weinig plasvorming op door de afstroming die plaatsvond. Perceel 6 betrof een bouwlandperceel dat tijdens de bevoeiing was begroeid met winterrogge als groenbemester na snijmaisteelt. Op een laag gedeelte van het perceel stond de winterrogge onder water. Daarbuiten was de bovengrond volledig verzadigd met veel water in het maaiveld. De draagkracht was aanmerkelijk lager dan dat van de overige graslandpercelen.

Neerslag

De neerslagsom van 17 januari tot 28 februari bedroeg 134,1 mm. Dit was gemiddeld 3,1 mm per dag. De neerslaggegevens zijn betrokken van een neerslagmeter op De Marke. In Figuur 4.2 staan de neerslaghoeveelheden per dag, met een onderscheid tussen de proefperiode waarin bevoeid is en de periode daarvoor en daarna. Tevens is de cumulatieve hoeveelheid weergegeven.



Figuur 4.2 Neerslag per dag en cumulatief gemeten in de periode van 1 januari tot 7 juli 2022 op Agro-innovatiecentrum De Marke, met voor neerslag per dag onderscheid in de proefperiode waarin bevoeid werd en de periode daarvoor en daarna.

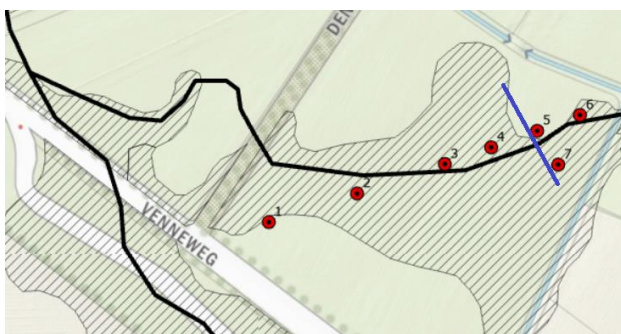
4.2 Grondwaterstanden

Per proefperceel is het effect van bevoeiing op de grondwaterstand geanalyseerd, enerzijds afhankelijk van de afstand van uitvloeiingsslang en anderzijds afhankelijk van de tijd. Eveneens zijn per perceel de hoogste grondwaterstanden (peilbuis met het meeste effect) vergeleken met de grondwaterstanden gemeten in een nabij gelegen (onbeïnvloedde) referentiepeilbuis. Dit betrof voor perceel 1, 2 en 6 de peilbuis 'Hazenhutweg' (HHW) en voor perceel 3-5 de peilbuis 'Vierblokkenweg' (VBW). Uitgangspunt bij de vergelijking is dat de grondwaterdynamiek in de referentiepeilbuis vergelijkbaar is met die op de proefvelden.

Aangezien de bevoeiing op relatief hoog gelegen gedeelten van de proeflocatie plaats vond, stroomde water naar lager gelegen gedeelten. In de lager gelegen delen kon zodoende het water op het maaiveld komen te staan. Dit was per perceel verschillend door het verschil in maaiveldligging. Zodoende kon geen analyse van de resultaten over de proefpercelen heen gemaakt worden.

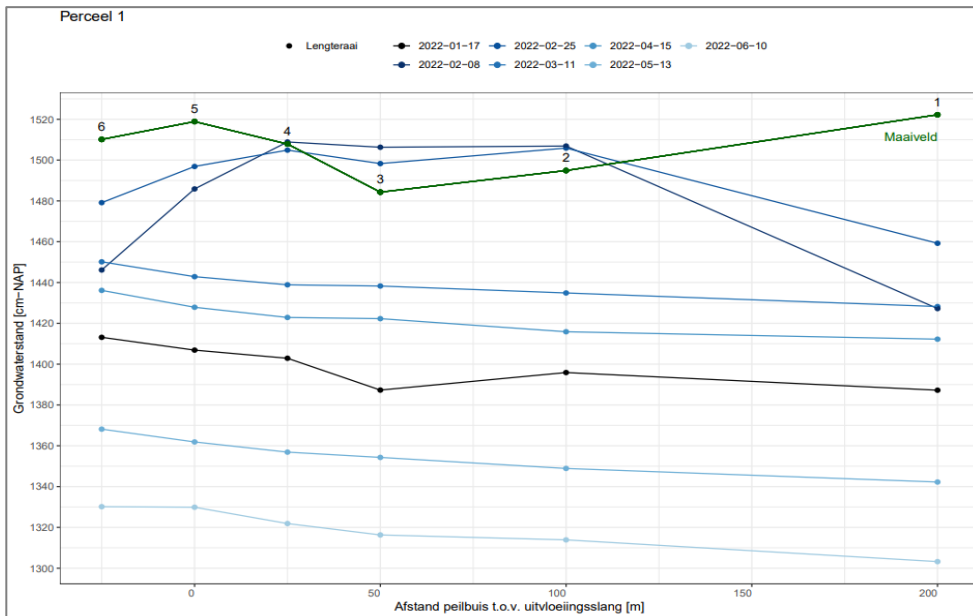
Perceel 1

Op perceel 1 werd wekelijks in zeven peilbuizen de grondwaterstand gemeten. In Figuur 4.3 staat een plattegrond van de locatie conform Figuur 3.4 in paragraaf 3.3. Peilbuis 7 lag op een dwarsraai ter hoogte van de uitvloeiingsbuis welke met een blauwe lijn is aangeven.



Figuur 4.3 Plattegrond proeflocatie met peilbuizen 1-6 op lengteraaie en peilbuis 7 ter hoogte van de uitvloeiingsbuis (blauwe lijn).

De grondwaterstanden en de maaiveldhoogte van de lengterraai op proefperceel 1 staan in Figuur 4.4 en zijn weergegeven in cm ten opzichte van NAP. Voor de grondwaterstanden betreft elke afzonderlijke lijn de meetdata van een van de wekelijkse metingen. Daarbij correspondeert de donkerste blauwe kleur met de eerste meting op 17 januari 2022 en de meest lichte blauwe kleur met de laatste meting op 10 juni 2022. In de lijn die het maaiveld aangeeft (groen) staan de nummers van de peilbuizen. De meetdata inclusief peilbuis 7 op de dwarsraai staat in Bijlage 3.

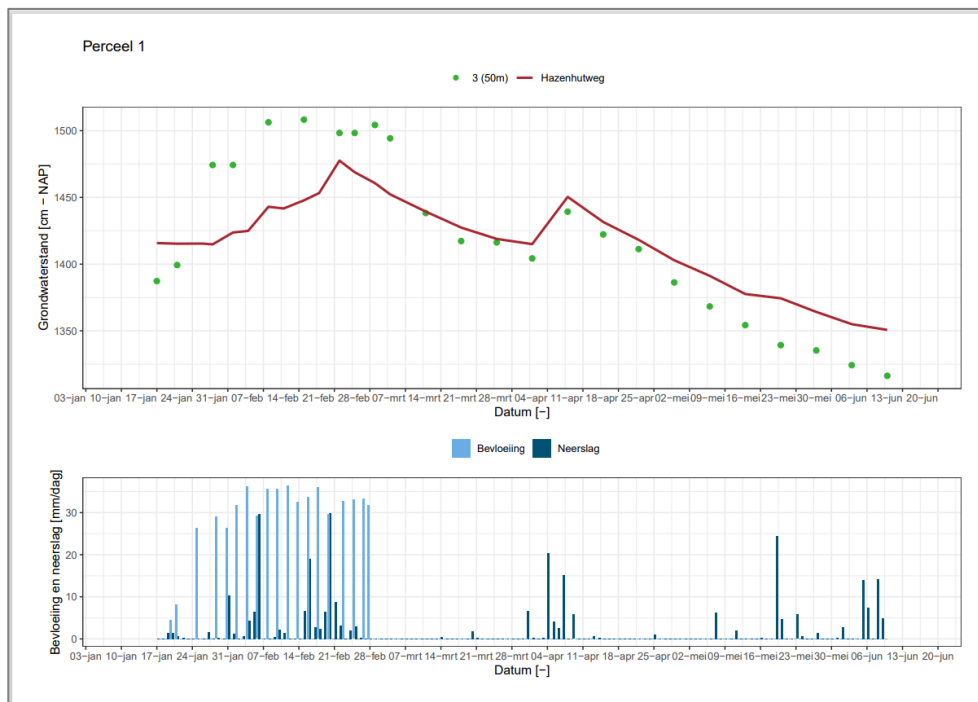


Figuur 4.4 Grondwaterstanden lengterraai (blauw) en maaiveld (groen) per peilbuis in cm ten opzichte van NAP voor proefperceel 1. Elke afzonderlijke lijn betreft meetdata van een afzonderlijke meetdatum, waarbij donkerste blauwe kleur correspondeert met de eerste meting op 17 januari 2022 en de lichtste blauwe kleur correspondeert met de meest recente meting op 10 juni 2022. De peilbuizen zijn met nummers aangegeven.

Het maaiveldniveau tussen de zes peilbuizen op de lengterraai varieerde aanzienlijk in hoogte. Het verschil tussen de hoogste en laagste peilbuis, respectievelijk peilbuis 1 en 3 bedroeg 38 cm. Er vond afstroming van water plaats van peilbuis 5 naar peilbuis 2 en dit leidde vooral bij peilbuis 3 tot plasvorming.

Tijdens de eerste meting was het grondwaterniveau voor alle peilbuizen redelijk vergelijkbaar. De diepte van het relatief vlakke grondwaterniveau varieerde van 45 tot 85 cm beneden maaiveld. Na het inzetten van bevoeiing steeg ter hoogte van peilbuis 2-4 het grondwater tot in het maaiveld of bij peilbuis 3 zelfs tot 25 cm boven maaiveld. Na het stopzetten van bevoeien op 28 februari zakte de grondwaterstand relatief snel.

Om te zien hoe de dynamiek in de grondwaterstand op proefperceel 1 zich verhield tot de omgeving, zijn de meetdata van peilbuis 3 en HHW in Figuur 4.5 tegen elkaar uitgezet.

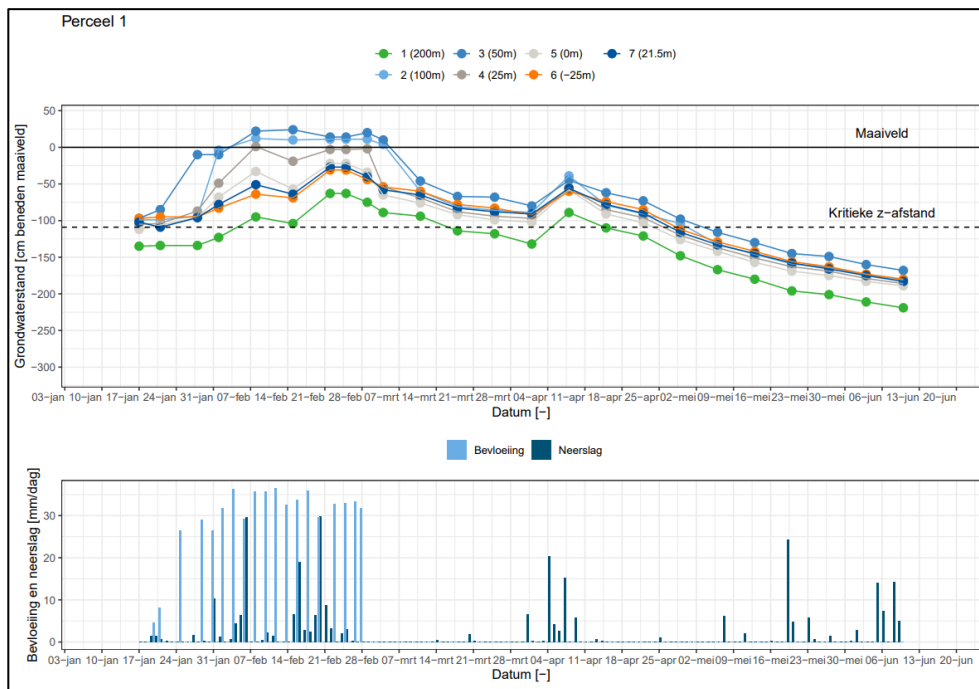


Figuur 4.5 Grondwaterstanden van peilbuis 3 (groene punten in cm-NAP) op proefperceel 1 en de referentiepeilbuis 'Hazenhutweg' (HHW; rode doorlopende lijn). Tevens de hoeveelheden neerslag (Agro-innovatiecentrum De Marke) en bevloeiing (mm).

De meetdata van peilbuis 3 lieten zich het best met die van HHW vergelijken. Opviel dat de grondwaterstand van de referentiepeilbuis met 62 cm steeg door de relatief grote hoeveelheid neerslag in de bevoeiingsperiode van in het totaal 134 mm.

De maximale grondwaterstandsverhoging werd gerealiseerd op 28 januari 2022. Het verschil, gecorrigeerde voor het verschil in grondwaterstanden op 17 januari, bedroeg 88 cm ten opzichte van HHW. Een verhoging van de grondwaterstand werd gemeten tot 22-04-2022. Vanaf deze datum was het verschil tussen peilbuis 3 en HHW vergelijkbaar met dat van voor de bevoeiing. Het extra aantal dagen verhoging van de grondwaterstand vanaf 17-01-2022 (inclusief bevoeiing) was 102 dagen.

Om te zien hoe de grondwaterstanden zich verhielden tot de kritieke z-afstand staan in Figuur 4.6 de grondwaterstanden van de peilbuizen ten opzichte van het maaiveld.

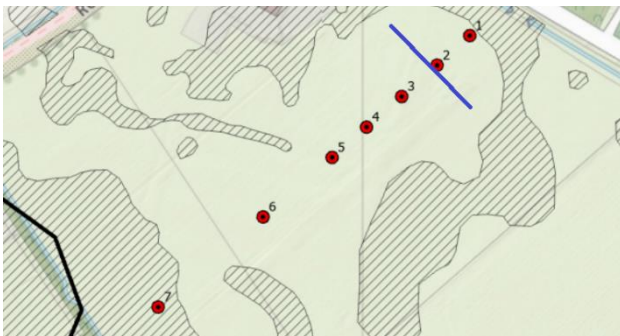


Figuur 4.6 Boven: grondwaterstanden van 1-7 ten opzichte van het maaiveld. Tevens is de kritieke z-afstand weergegeven. Onder: hoeveelheden bevloeiing en neerslag.

Het tijdstip waarop de grondwaterstand onder de grens van de kritieke z-afstand kwam, was afhankelijk van de afstand tot de uitvloeibuis. Voor peilbuis 3 (50 m) was dit rond 2 mei en voor peilbuis 1 (200 m) was dat aanmerkelijk eerder rond 18 maart. Gemiddeld voor de peilbuizen was dit 25 april.

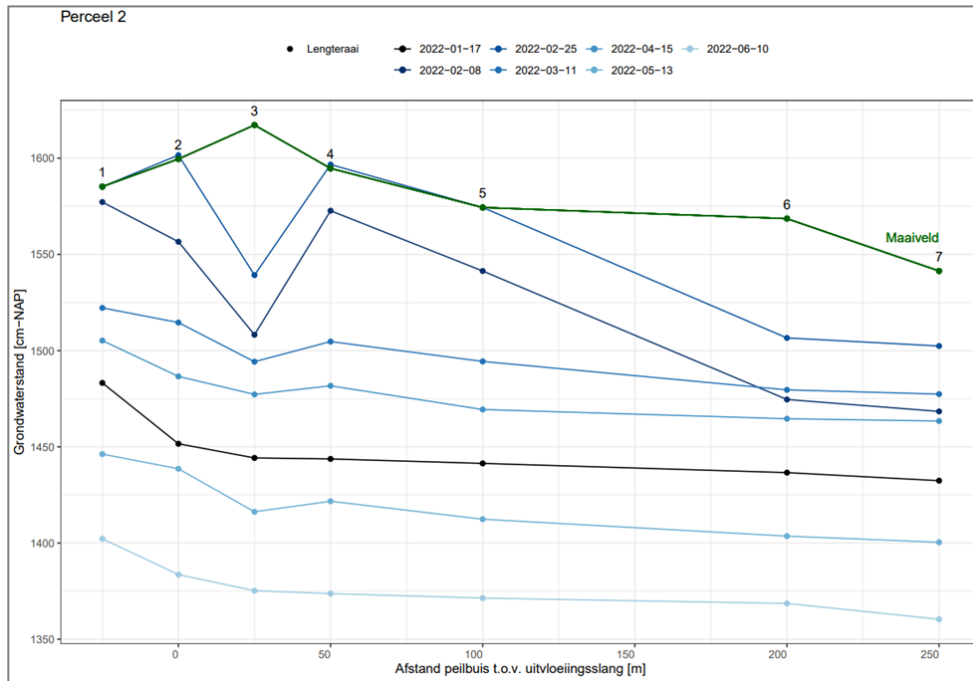
Perceel 2

Op perceel 2 werd wekelijks in zeven peilbuizen de grondwaterstand gemeten. In Figuur 4.7 staat een plattegrond van de locatie conform Figuur 3.4 in paragraaf 3.3. De uitvloeibuis is met een blauwe lijn aangeven.



Figuur 4.7 Plattegrond proeflocatie met peilbuis 1-7 op de lengteraaï en de uitvloeibuis (blauwe lijn).

De grondwaterstanden en de maaiveldhoogte van de lengteraaï op locatie 2 staan in Figuur 4.8 en zijn weergegeven in cm ten opzichte van NAP. Voor de grondwaterstanden betreft elke afzonderlijke lijn de meetdata van een van de wekelijkse metingen. Daarbij correspondeert de donkerste blauwe kleur met de eerste meting op 17 januari 2022 en de meest lichte blauwe kleur met de recentste meting op 10 juni 2022. In de lijn die het maaiveld aangeeft (groen) staan de nummers van de peilbuizen.

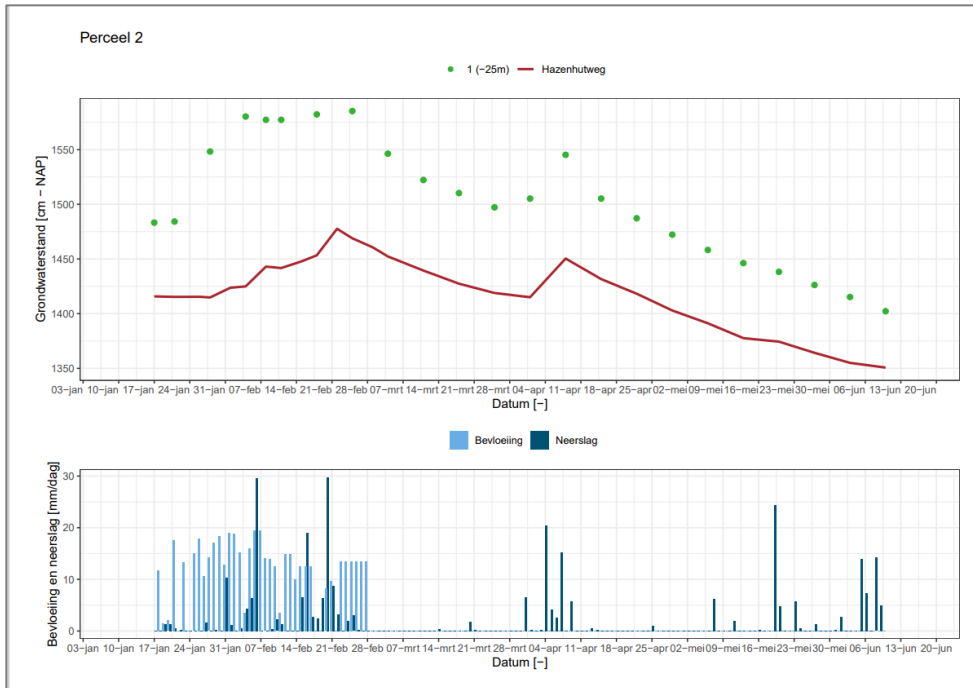


Figuur 4.8 Grondwaterstanden lengteraai (blauw) en maaiveld (groen) per peilbuis in cm ten opzichte van NAP voor proefperceel 2. Elke afzonderlijke lijn betreft meetdata van een afzonderlijke meetdatum, waarbij donkerste blauwe kleur correspondeert met de eerste meting op 17 januari 2022 en de lichtste blauwe kleur correspondeert met de meest recente meting op 10 juni 2022. De peilbuizen zijn met nummers aangegeven.

De variatie in maaiveldhoogte tussen de zeven peilbuizen was op locatie 2 aanzienlijk. Het verschil tussen de hoogste en laagste peilbuis, respectievelijk peilbuis 3 en 7 bedroeg 76 cm. Er vond afstroming van water richting zowel peilbuis 1 als 7. Ter hoogte van peilbuis 4 en 5 leidde dit tot plasvorming en bij peilbuis 3 leidde dit tot een relatief lagere grondwaterstand.

Tijdens de eerste meting was het grondwaterniveau voor de peilbuizen 3-7 redelijk vergelijkbaar. De grondwaterstand was vooral voor peilbuis 1 hoger en dit was in mindere mate het geval voor peilbuis 2. De diepte van het grondwaterniveau varieerde van 97 tot 165 cm beneden maaiveld, voor respectievelijk peilbuis 1 en 3. Na het inzetten van bevoeiing steeg het grondwater ter hoogte van peilbuis 1-2 en 4-5 tot in het maaiveld. Na het stopzetten van het bevoeien op 28 februari zakte de grondwaterstand relatief snel tot meer dan 2 m beneden maaiveld.

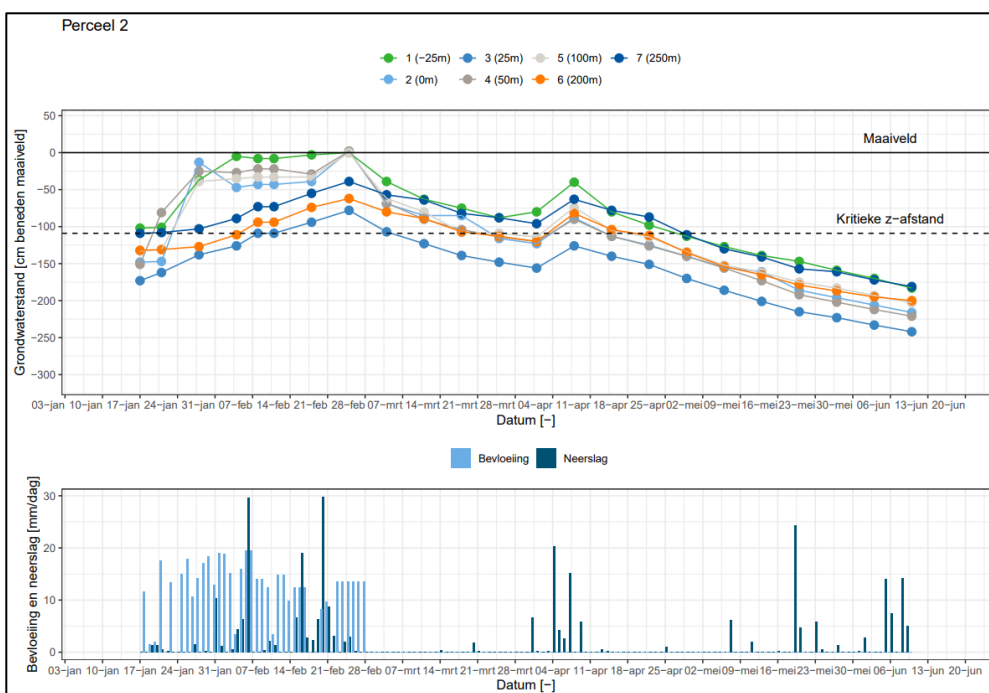
Om te zien hoe de dynamiek in de grondwaterstand op proefperceel 2 zich verhiel tot de omgeving, zijn de meetdata van peilbuis 1 en die van HHW in Figuur 4.9 tegen elkaar uitgezet.



Figuur 4.9 Grondwaterstanden van peilbuis 1 (groene punten in cm-NAP) op proefperceel 2 en de referentiepeilbuis 'Hazenhutweg' (HHW; rode doorlopende lijn). Tevens de hoeveelheden neerslag (Agro-innovatiecentrum De Marke) en bevloeiing (mm).

De meetdata van peilbuis 1 lieten zich het best met die van HHW vergelijken. De maximale grondwaterstandsverhoging werd gerealiseerd op 4 februari 2022. Het verschil, gecorrigeerd voor het verschil in grondwaterstanden op 17 januari, bedroeg 88 cm ten opzichte van HHW. De verhoging van de grondwaterstand werd gemeten tot 6 mei. Vanaf deze datum was het verschil tussen peilbuis 1 en HHW vergelijkbaar of kleiner dan voor de bevloeiing. Het extra aantal dagen verhoging van de grondwaterstand vanaf 17-01-2022 (inclusief bevloeiing) was 116 dagen.

Om te zien hoe de grondwaterstanden zich verhielden tot de kritieke z-afstand staan in Figuur 4.10 de grondwaterstanden van de peilbuizen ten opzichte van het maaiveld.



Figuur 4.10 Boven: grondwaterstanden van 1-7 ten opzichte van het maaiveld. Tevens is de kritieke z-afstand weergegeven. Onder: hoeveelheden bevloeiing en neerslag.

Het tijdstip waarop de grondwaterstand onder de grens van de kritieke z-afstand kwam, was afhankelijk van de afstand tot de uitvloeingsbuis. Voor peilbuis 1 en 7 (-25 en 250 m) was dit rond 29 april en voor peilbuis 3 (25 m) was dat aanmerkelijk eerder rond 4 maart. Gemiddeld voor de peilbuizen was dit 15 april.

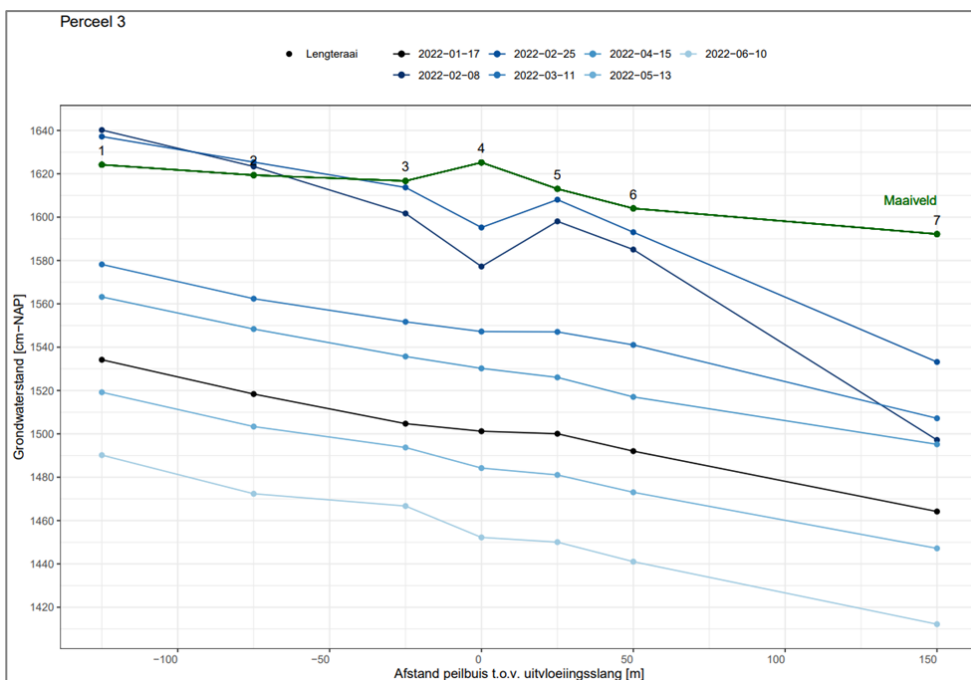
Perceel 3

Op perceel 3 werd wekelijks in tien peilbuizen de grondwaterstand gemeten. In Figuur 4.11 staat een plattegrond van de locatie conform Figuur 3.4 in paragraaf 3.3. Peilbuizen 8-10 lagen op een dwarsraai haaks op de infiltratie sloot (peilbuis 10) ter hoogte van de uitvloeingsbuizen welke met een blauwe lijnen is aangeven.



Figuur 4.11 Plattegrond proefperceel met peilbuis 1-7 op een lengteraaai en peilbuis 8-10 op een breedteraaai ter hoogte van twee uitvloeingsbuizen (blauwe lijnen).

De grondwaterstanden en de maaiveldhoogte van de lengteraaai op proefperceel 3 staan in Figuur 4.12 en zijn weergegeven in cm ten opzichte van NAP. Voor de grondwaterstanden betreft elke afzonderlijke lijn de meetdata van een van de wekelijkse metingen. Daarbij correspondeert de donkerste blauwe kleur met de eerste meting op 17 januari 2022 en de meest lichte blauwe kleur met de recentste meting op 10 juni 2022. In de lijn die het maaiveld aangeeft (groen) staan de nummers van de peilbuizen. De meetdata inclusief peilbuis 8-10 op de dwarsraai staat in Bijlage 3.

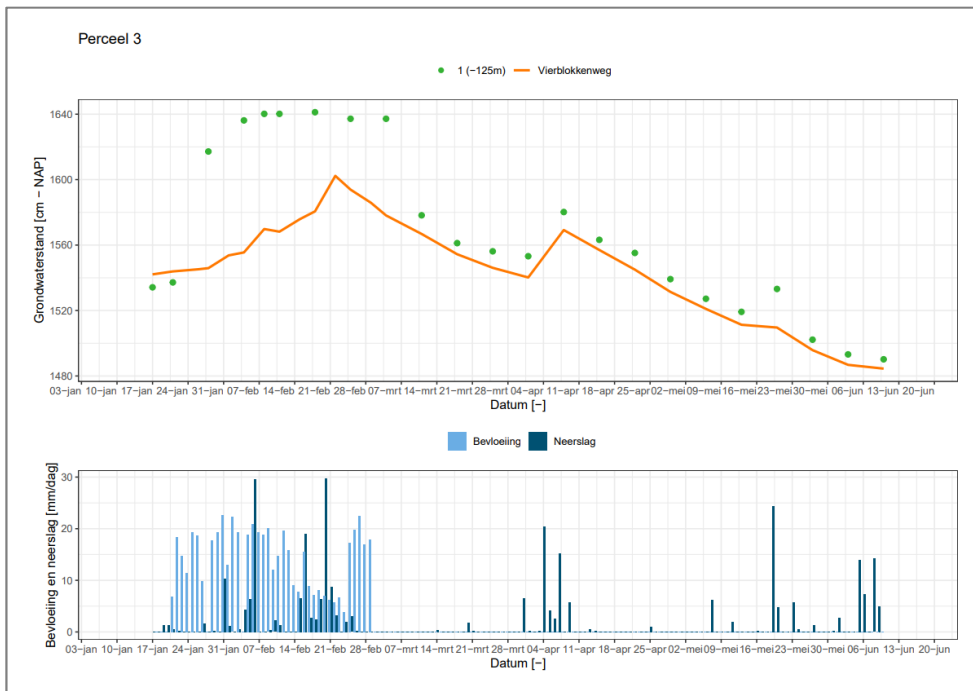


Figuur 4.12 Grondwaterstanden lengteraaai (blauw) en maaiveld (groen) per peilbuis in cm ten opzichte van NAP voor proefperceel 3. Elke afzonderlijke lijn betreft meetdata van een afzonderlijke meetdatum, waarbij donkerste blauwe kleur correspondeert met de eerste meting op 17 januari 2022 en de lichtste blauwe kleur correspondeert met de meest recente meting op 10 juni 2022. De peilbuizen zijn met nummers aangegeven.

Het maaiveldniveau tussen de zeven peilbuizen op de lengteraai varieerde aanzienlijk in hoogte. Het verschil tussen de hoogste en laagste peilbuis, respectievelijk peilbuis 4 en 7 bedroeg 33 cm. Er vond afstroming van water plaats van peilbuis 4 richting peilbuis 1, 7 en 10 (dwarsraai).

Tijdens de eerste meting was er een gradiënt in grondwaterniveau, met de hoogste in peilbuis 1 en de laagste stand in peilbuis 7, meelopend met het maaiveld. De diepte van het aflopende grondwaterniveau varieerde van 83 tot 103 cm beneden maaiveld, respectievelijk voor peilbuis 1 en 7. Na het inzetten van bevloeiing steeg ter hoogte van peilbuis 1 en 2 het grondwater op 8 tot respectievelijk 18 en 5 cm boven maaiveld. Na het stopzetten van bevloeiing op 28 februari zakte de grondwaterstand relatief snel.

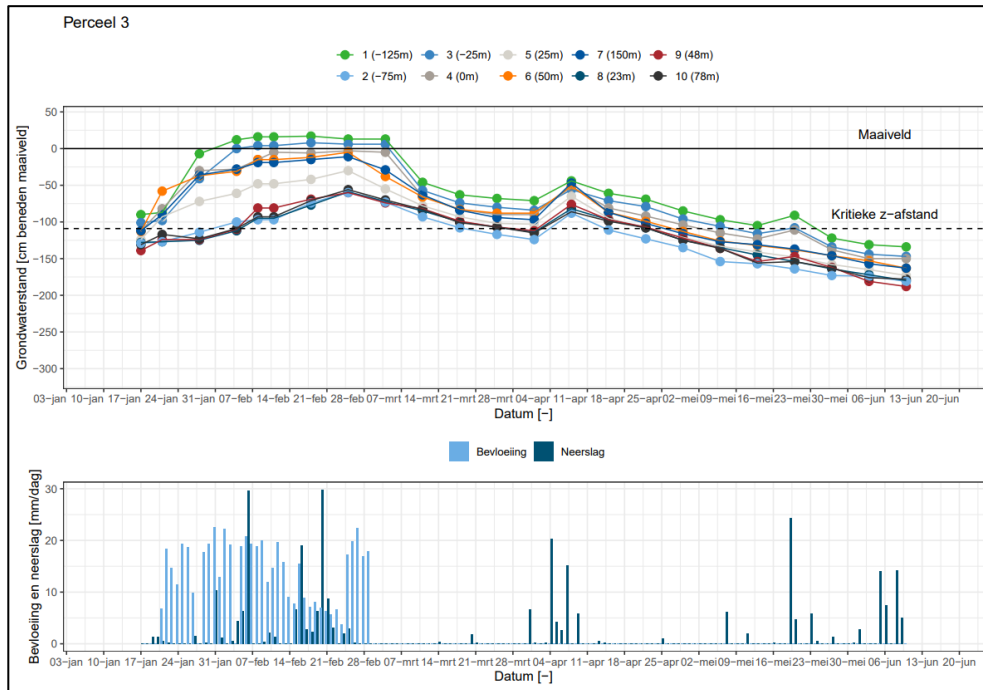
Om te zien hoe de dynamiek in de grondwaterstand op proefperceel 3 zich verhiel tot de omgeving, zijn de meetdata van peilbuis 1 en VBW in Figuur 4.13 tegen elkaar uitgezet.



Figuur 4.13 Grondwaterstanden van peilbuis 1 (groene punten in cm-NAP) op proefperceel 3 en de referentiepeilbuis 'Vierblokkenweg' (VBW; oranje doorlopende lijn). Tevens de hoeveelheden neerslag (Agro-innovatiecentrum De Marke) en bevloeiing (mm).

De meetdata van peilbuis 1 lieten zich het best met die van VBW vergelijken. De maximale grondwaterstandsverhoging werd gerealiseerd op 28 januari 2022. Het verschil, gecorrigeerd voor het verschil in grondwaterstanden op 17 januari, bedroeg 98 cm ten opzichte van VBW. De verhoging van de grondwaterstand werd gemeten tot en met de laatste meting op 01-07-2022. Het extra aantal dagen verhoging van de grondwaterstand vanaf 17-01-2022 (inclusief bevloeiing) was 165 dagen.

Om te zien hoe de grondwaterstanden zich verhiel tot de kritieke z-afstand staan in Figuur 4.14 de grondwaterstanden van de peilbuizen ten opzichte van het maaiveld.



Figuur 4.14 Boven: grondwaterstanden van 1-10 ten opzichte van het maaiveld. Tevens is de kritieke z-afstand weergegeven. Onder: hoeveelheden bevloeiing en neerslag.

Het tijdstip waarop de grondwaterstand onder de grens van de kritieke z-afstand kwam, was afhankelijk van de afstand tot de uitvloeibuis. Voor peilbuis 1 (-125 m) was dit rond 23 mei en voor peilbuis 2 (-75 m) was dat aanmerkelijk eerder rond 18 maart. Gemiddeld voor de peilbuizen was dit 29 april.

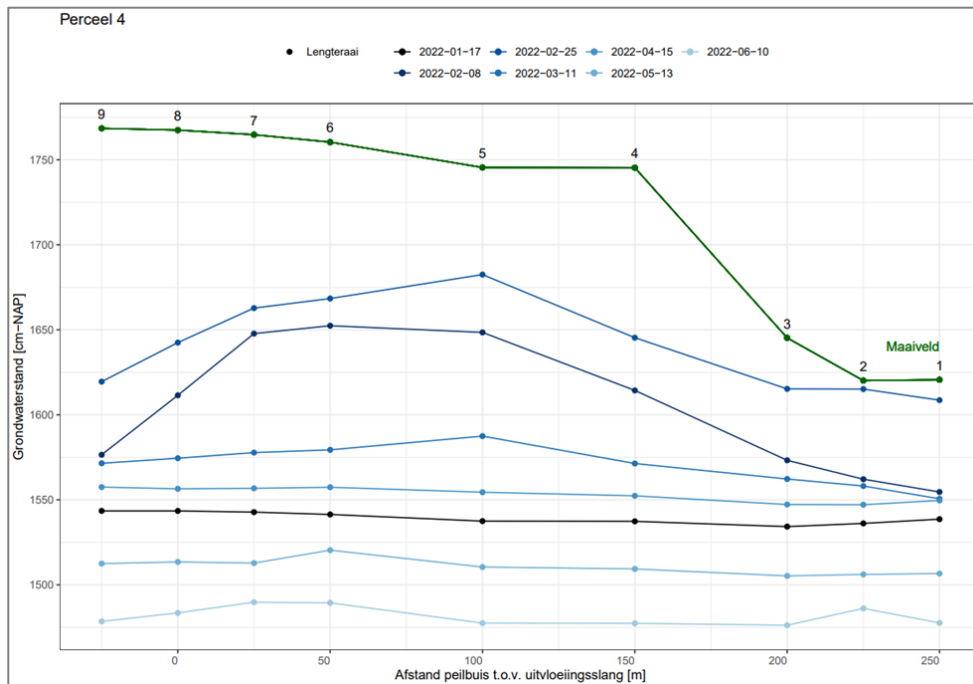
Perceel 4

Op perceel 4 werd wekelijks in negen peilbuizen de grondwaterstand gemeten. In Figuur 4.15 staat een plattegrond van de locatie conform Figuur 3.4 in paragraaf 3.3. De uitvloeibuis is met een blauwe lijn aangeven.



Figuur 4.15 Plattegrond proeflocatie met peilbuis 1-9 op een lengteraaï en ter hoogte van peilbuis 7 de uitvloeibuis (blauwe lijn).

De grondwaterstanden en de maaiveldhoogte van de lengteraaï op proeflocatie 4 staan in Figuur 4.16 en zijn weergegeven in cm ten opzichte van NAP. Voor de grondwaterstanden betreft elke afzonderlijke lijn de meetdata van een van de wekelijkse metingen. Daarbij correspondeert de donkerste blauwe kleur met de eerste meting op 17 januari 2022 en de meest lichte blauwe kleur met de recentste meting op 10 juni 2022. In de lijn die het maaiveld aangeeft (groen) staan de nummers van de peilbuizen.

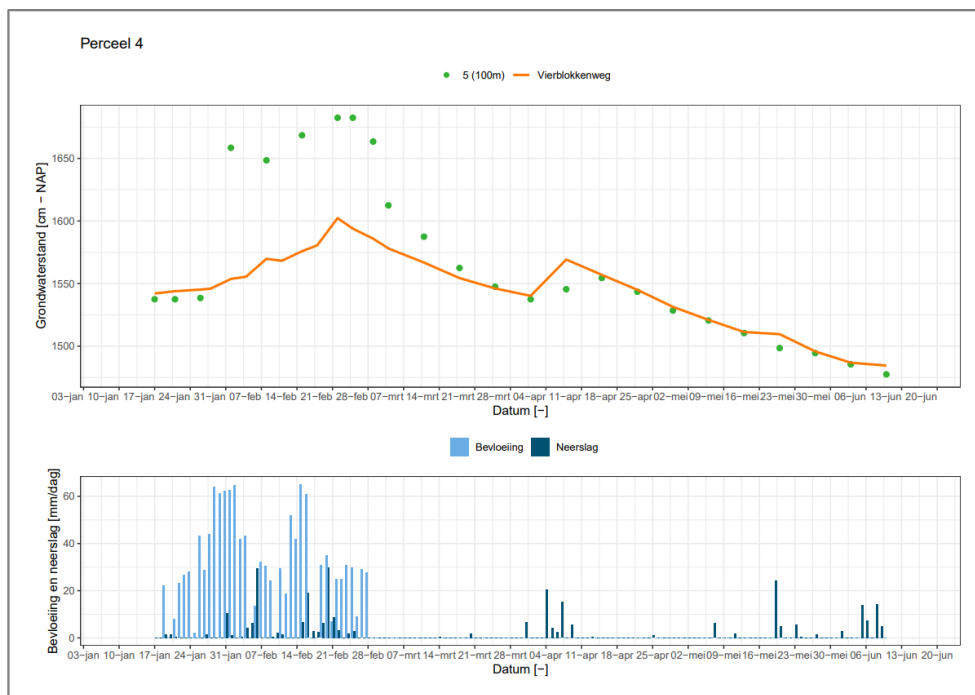


Figuur 4.16 Grondwaterstanden lengterai (blauw) en maaiveld (groen) per peilbuis in cm ten opzichte van NAP voor proefperceel 4. Elke afzonderlijke lijn betreft meetdata van een afzonderlijke meetdatum, waarbij donkerste blauwe kleur correspondeert met de eerste meting op 17 januari 2022 en de lichtste blauwe kleur correspondeert met de meest recente meting op 10 juni 2022. De peilbuizen zijn met nummers aangegeven.

Het maaiveldniveau tussen de negen peilbuizen op de lengterai varieerde aanzienlijk in hoogte. Het verschil tussen de hoogste en laagste peilbuis, respectievelijk peilbuis 9 en 1 bedroeg 148 cm. Er vond afstroming van water plaats van peilbuis 7 richting peilbuis 5, waar de grondwaterstand het meest steeg. Richting peilbuis 9 dreineerde water via de bodem naar de kavelsloot, waardoor hier de grondwaterstand aanmerkelijk minder verhoogd werd.

Tijdens de eerste meting was het grondwater niveau voor alle peilbuizen redelijk vergelijkbaar. De diepte van het relatief vlakke grondwater niveau varieerde van 81 tot 226 cm beneden maaiveld voor respectievelijk peilbuis 1 en 9. Na het inzetten van bevloeiing steeg op 22 februari het grondwater in peilbuis 1 en 5 respectievelijk 11 en 62 cm beneden maaiveld. Na het stopzetten van bevloeiing op 28 februari zakte de grondwaterstand relatief snel.

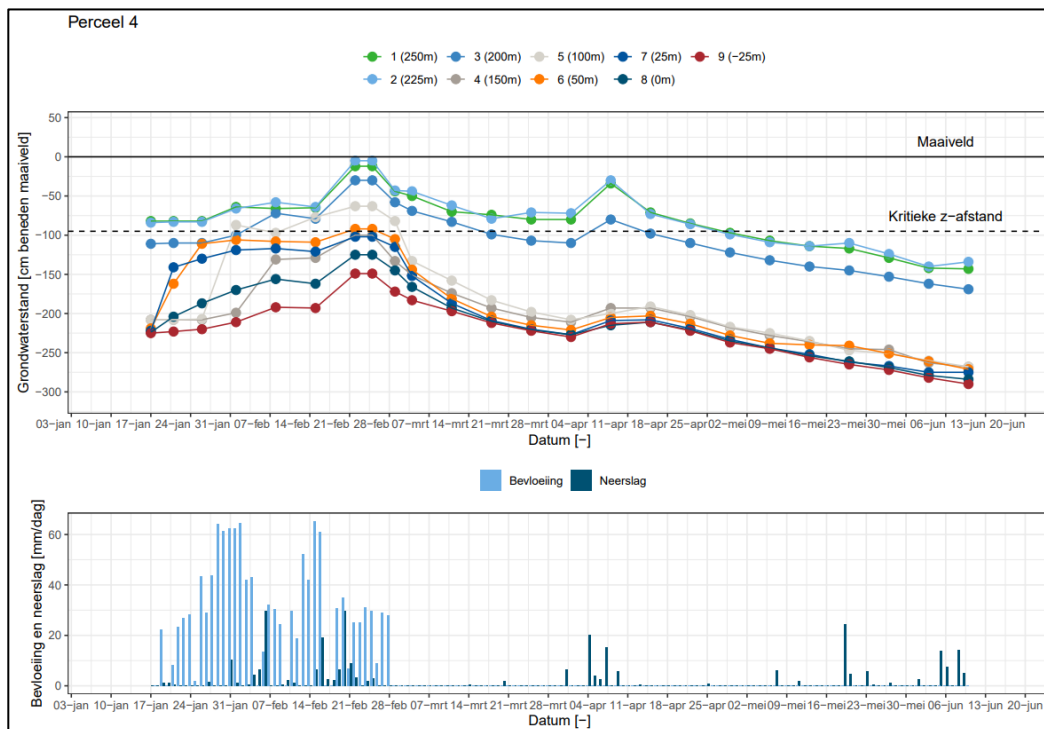
Om te zien hoe de dynamiek in de grondwaterstand op proefperceel 4 zich verhield tot de omgeving, zijn de meetdata van peilbuis 5 en VBW in Figuur 4.17 tegen elkaar uitgezet.



Figuur 4.17 Grondwaterstanden van peilbuis 5 (groene punten in cm-NAP) op proefperceel 4 en de referentiepeilbuis 'Vierblokkenweg' (VBW; oranje doorlopende lijn). Tevens de hoeveelheden neerslag (Agro-innovatiecentrum De Marke) en bevloeiing (mm).

De meetdata van peilbuis 5 lieten zich het best met die van VBW vergelijken. De maximale grondwaterstandsverhoging werd gerealiseerd op 1 februari 2022. Het verschil, gecorrigeerd voor het verschil in grondwaterstanden op 17 januari, bedroeg 109 cm ten opzichte van VBW. De verhoging van de grondwaterstand werd gemeten tot 20 mei. Vanaf deze datum was het verschil tussen peilbuis 5 en VBW vergelijkbaar of kleiner dan voor de bevloeiing. Het extra aantal dagen verhoging van de grondwaterstand vanaf 17-01-2022 (inclusief bevloeiing) was 81 dagen.

Om te zien hoe de grondwaterstanden zich verhielden tot de kritieke z-afstand staan in Figuur 4.18 de grondwaterstanden van de peilbuizen ten opzichte van het maaiveld.



Figuur 4.18 Boven: grondwaterstanden van 1-9 ten opzichte van het maaiveld. Tevens is de kritieke z-afstand weergegeven. Onder: hoeveelheden bevoeiing en neerslag.

Alleen de grondwaterstanden van de peilbuizen in het laag gelegen deel van het perceel kwamen boven de kritieke z-afstand. Het tijdstip waarop de grondwaterstand onder de grens van de kritieke z-afstand kwam, was voor peilbuis 1 en 2 rond 29 april en voor peilbuis 3 rond 22 april.

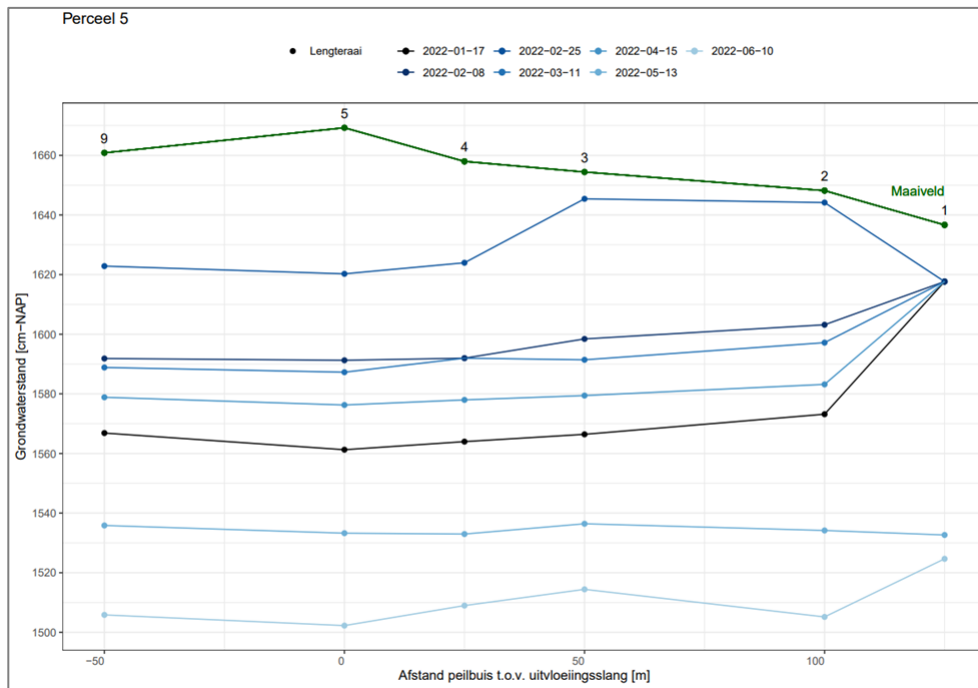
Proefperceel 5

Op perceel 5 werd wekelijks in tien peilbuizen de grondwaterstand gemeten. In Figuur 4.19 staat een plattegrond van de locatie conform Figuur 3.4 in paragraaf 3.3. De peilbuizen 1-5 en 9 lagen op een lengterraai. Ter hoogte van peilbuis 5 en ter plaatse van de uitvloeibuis, welke met een blauwe lijn is aangegeven, lag een dwarsraai met peilbuizen 6-8 en 10.



Figuur 4.19 Plattegrond proefperceel 5 met peilbuis 1-5 en 9 op een lengterraai en peilbuis 6-8 en 10 op een breedterraai met ter hoogte van peilbuis 5 de uitvloeibuis (blauwe lijn).

De grondwaterstanden en de maaiveldhoogte van de lengterraai op proeflocatie 5 staan in Figuur 4.20 en zijn weergegeven in cm ten opzichte van NAP. Voor de grondwaterstanden betreft elke afzonderlijke lijn de meetdata van een van de wekelijkse metingen. Daarbij correspondeert de donkerste blauwe kleur met de eerste meting op 17 januari 2022 en de meest lichte blauwe kleur met de recentste meting op 10 juni 2022. In de lijn die het maaiveld aangeeft (groen) staan de nummers van de peilbuizen. De meetdata inclusief die van de dwarsraai (peilbuis 6-8 en 10) staan in Bijlage 3.

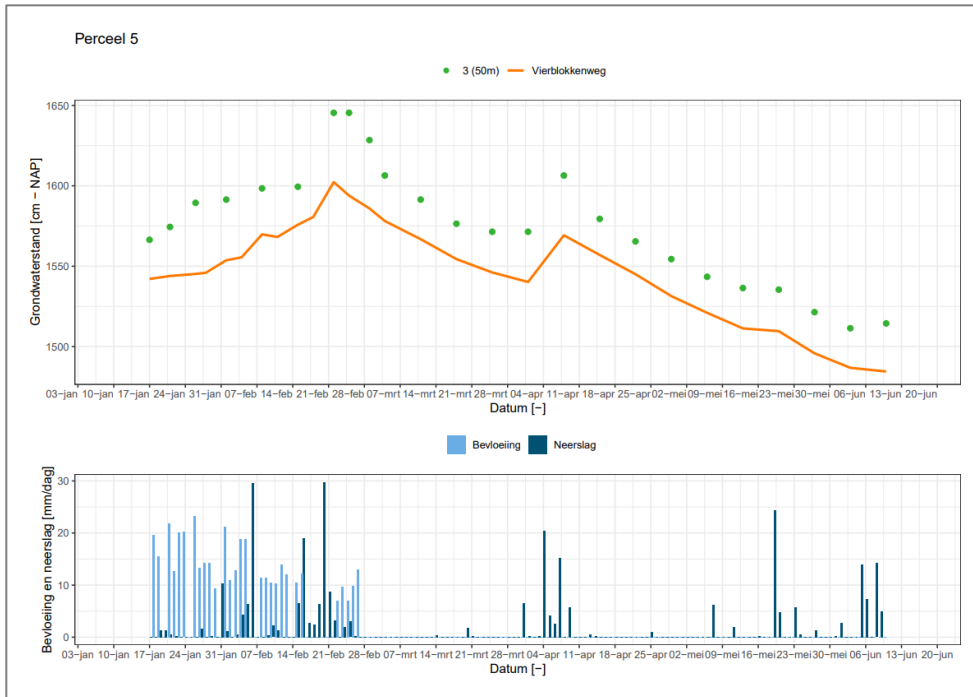


Figuur 4.20 Grondwaterstanden lengterraai (blauw) en maaiveld (groen) per peilbuis in cm ten opzichte van NAP voor proefperceel 5. Elke afzonderlijke lijn betreft meetdata van een afzonderlijke meetdatum, waarbij donkerste blauwe kleur correspondeert met de eerste meting op 17 januari 2022 en de lichtste blauwe kleur correspondeert met de meest recente meting op 10 juni 2022. De peilbuizen zijn met nummers aangegeven.

Het maaiveldniveau tussen de zes peilbuizen op de lengterraai varieerde aanzienlijk in hoogte. Het verschil tussen de hoogste en laagste peilbuis, respectievelijk peilbuis 5 en 1 bedroeg 33 cm. Door het hoogte verschil vond afstroming van water plaats gelijkmatig over het perceel richting peilbuis 1 en de nabij gelegen sloot.

Tijdens de eerste meting was het grondwater niveau voor alle peilbuizen redelijk vlak uitgezonderd de hogere grondwaterstand in peilbuis 1. De diepte van het relatief vlakke grondwater niveau varieerde van 45 tot 85 cm beneden maaiveld. Na het inzetten van bevoeiing steeg ter hoogte van peilbuis 2-4 het grondwater tot in het maaiveld of bij peilbuis 3 zelfs tot 25 cm boven maaiveld. Na het stopzetten van bevoeien 28 februari zakte de grondwaterstand relatief snel.

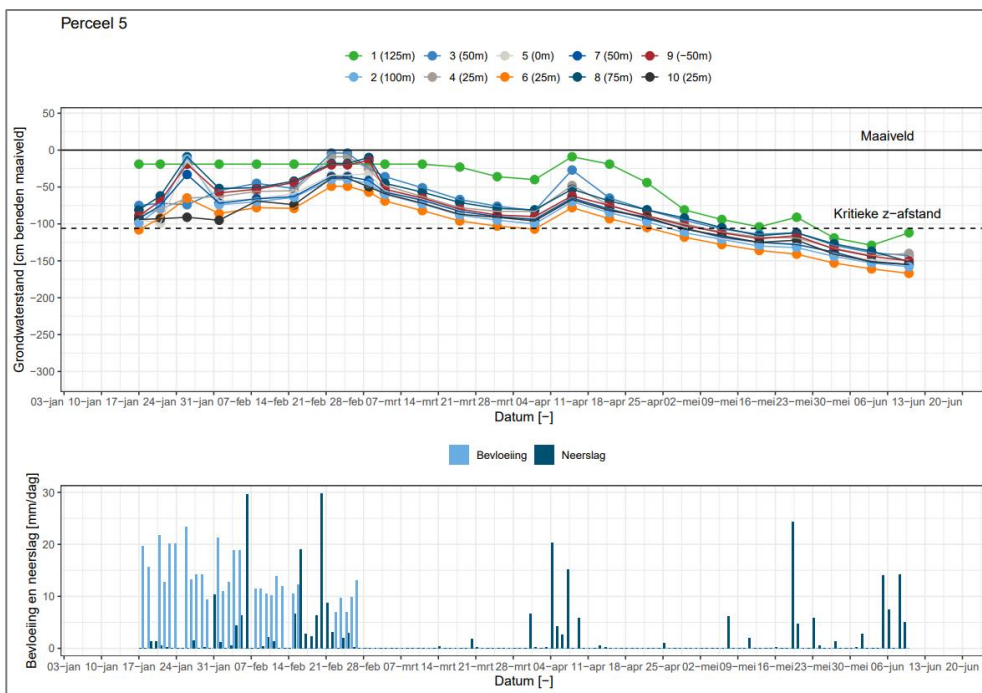
Om te zien hoe de dynamiek in de grondwaterstand op proefperceel 5 zich verhiel tot de omgeving, zijn de meetdata van peilbuis 3 en VBW in Figuur 4.21 tegen elkaar uitgezet.



Figuur 4.21 Grondwaterstanden van peilbuis 3 (groene punten in cm-NAP) op proefperceel 5 en de referentiepeilbuis 'Vierblokkenweg' (VBW; oranje doorlopende lijn). Tevens de hoeveelheden neerslag (Agro-innovatiecentrum De Marke) en bevloeiing (mm).

De meetdata van peilbuis 3 lieten zich het best met die van VBW vergelijken. De maximale grondwaterstandsverhoging werd gerealiseerd op 4 maart 2022. Het verschil, gecorrigeerde voor het verschil in grondwaterstanden op 17 januari, bedroeg 26 cm ten opzichte van VBW. De verhoging van de grondwaterstand werd gemeten tot 18-03-2022. Vanaf deze datum was het verschil tussen peilbuis 3 en VBW vergelijkbaar met dat van voor de bevloeiing. Het extra aantal dagen verhoging van de grondwaterstand vanaf 17-01-2022 (inclusief bevloeiing) was 60 dagen.

Om te zien hoe de grondwaterstanden zich verhielden tot de kritieke z-afstand staan in Figuur 4.22 de grondwaterstanden van de peilbuizen ten opzichte van het maaiveld.



Figuur 4.22 Boven: grondwaterstanden van 1-10 ten opzichte van het maaiveld. Tevens is de kritieke z-afstand weergegeven. Onder: hoeveelheden bevloeiing en neerslag.

Het tijdstip waarop de grondwaterstand onder de grens van de kritieke z-afstand kwam, was afhankelijk van de afstand tot de uitvloeibuis. Voor peilbuis 1 (125 m) was dit rond 23 mei en voor peilbuis 6 (-25 m) was dit ongeveer een maand eerder rond 22 april. Gemiddeld voor alle peilbuizen was dit 6 mei.

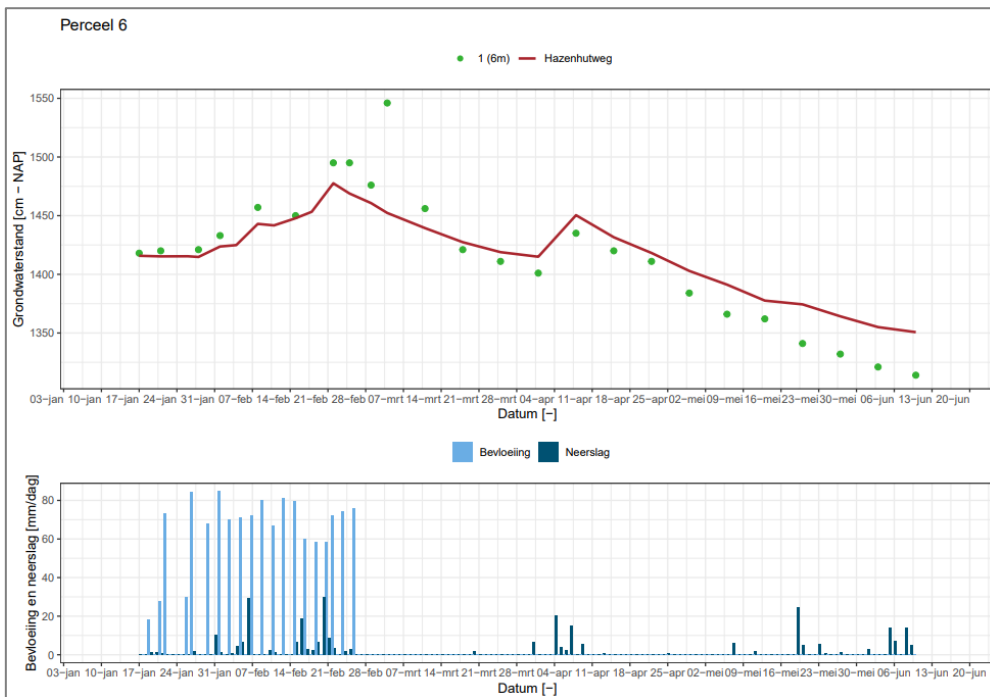
Perceel 6

Op perceel 6 werd wekelijks in één peilbuis de grondwaterstand gemeten. In Figuur 4.23 staat een plattegrond van de locatie conform Figuur 3.4 in paragraaf 3.3.



Figuur 4.23 Plattegrond proeflocatie met één peilbuis nabij de uitvloeibuis (blauwe lijn).

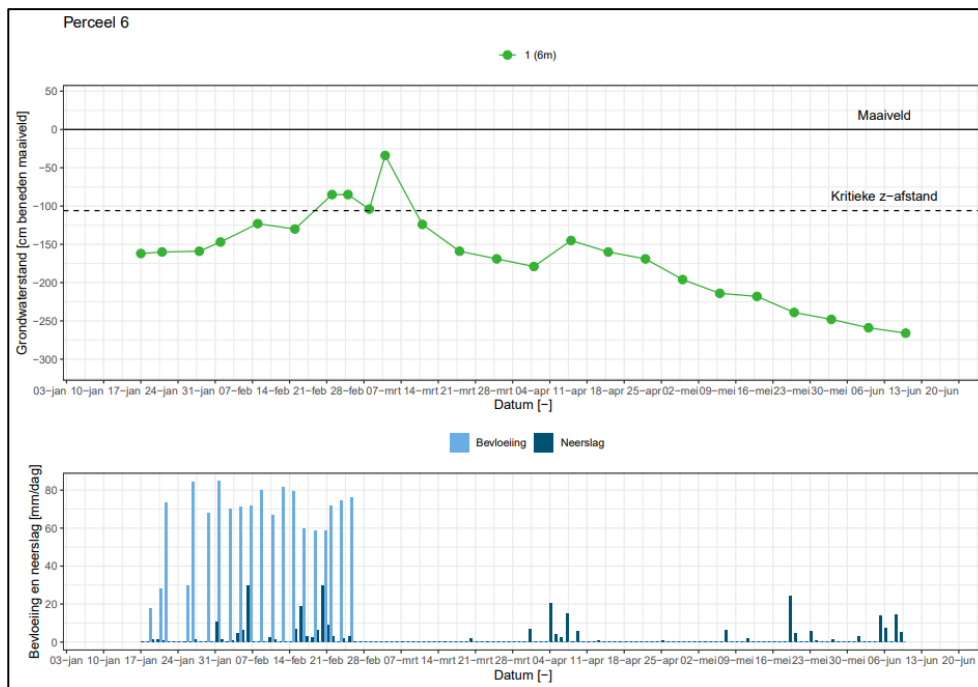
Peilbuis 1 lag op een relatief hoge plek (dekszandrug) in het perceel en daarom was hier sprake van bevoeien 'van bovenaf'. Om te zien hoe de dynamiek in de grondwaterstand op perceel 6 zich verhiel tot de omgeving, zijn de meetdata van peilbuis 1 en HHW in Figuur 4.24 tegen elkaar uitgezet.



Figuur 4.24 Grondwaterstanden van peilbuis 1 (groene punten in cm-NAP) op proefperceel 6 en de referentiepeilbuis 'Hazenhutweg' (HHW; rode doorlopende lijn). Tevens de hoeveelheden neerslag (Agro-innovatiecentrum De Marke) en bevoeiing (mm).

De maximale grondwaterstandsverhoging werd gerealiseerd op 28 januari 2022 en bedroeg 33 cm. De meting op 4 maart werd als een niet realistische meting beschouwd. Een verhoging van de grondwaterstand werd gemeten tot 18-03-2022. Het extra aantal dagen verhoging van de grondwaterstand vanaf 17-01-2022 (inclusief bevoeiing) was 60 dagen.

Om te zien hoe de grondwaterstanden zich verhiel tot de kritieke z-afstand staan in Figuur 4.25 de grondwaterstanden van de peilbuizen ten opzichte van het maaiveld.



Figuur 4.25 Boven: grondwaterstanden van peilbuis 1 ten opzichte van het maaiveld. Tevens is de kritieke z-afstand weergegeven. Onder: hoeveelheden bevloeiing en neerslag.

Het tijdstip waarop de grondwaterstand onder de grens van de kritieke z-afstand kwam, was rond 09-03-2022.

4.3 Gewasontwikkeling en wormen

Van de proefpercelen 1-5 is de gras- en wortelontwikkeling na het stoppen van bevloeien op 28 februari 2022 visueel gemonitord. Om de wortelontwikkeling te kunnen beoordelen en een indruk te krijgen van de aanwezigheid van wormen, als indicator voor bodemleven, zijn op 7 maart 2022 op alle percelen blokken uit de wortelzone gestoken van 20x20x20 cm.

Perceel 1

Door bevloeien kwam bij peilbuis 3 water tot 20 cm boven maaiveld en dit leidde tot schade aan de graszode door plantuitval. Tevens kwam de grasgroei rondom peilbuis 3 later op gang. Tijdens een visuele inventarisatie van de wortelzone op 11 maart had het gras dat 5 weken onder water had gestaan nog geen nieuwe (witte) wortels. Dit bevestigde de vertraagde start van de grasgroei in het voorjaar. Deze witte wortels waren wel aanwezig bij het gras dat niet onder water had gestaan.

Om een indruk te krijgen hoe het gras op perceel 1 na bevloeiing eruit zag staat in Figuur 4.26 een afbeelding van het perceel op 30 maart en op 26 april 2022. Op de voorgrond van de foto's heeft langere tijd water op het land gestaan.





Figuur 4.26 *Het grasbestand van perceel 1 na bevoeien op 30 maart (boven) en op 26 april 2022 (onder). Op de voorgrond heeft langere tijd water op het land gestaan.*

De foto van 30 maart laat op de voorgrond waar langere tijd water op het land heeft gestaan een verslechterd grasbestand en een hollere graszode zien. Dit heeft de groei vertraagd ten opzicht van het resterende deel van het bevoeide oppervlak, waar geen water op het land heeft gestaan. Op de foto van 26 april is te zien dat het grasbestand goed hersteld is, mede doordat het grasland is doorgezaaid. De zedichtheid was nog niet volledig op orde. De wortelontwikkeling en de aanwezigheid van wormen van drie locaties binnen perceel 1 zijn in beeld gebracht met foto's in Figuur 4.27. Daarbij zijn locaties onderscheiden waar in meer en mindere mate water op het land heeft gestaan.



Figuur 4.27 Wortelontwikkeling en aanwezigheid wormen perceel 1 (grasland) op 7 maart 2022 na bevoeien op respectievelijk locaties waar geen water op het land heeft gestaan (boven), een week water op het land stond (midden) en de gehele periode water op het land stond (onder).

Op de locatie waar geen water op het land heeft gestaan waren nieuwe witte wortels te zien. Het merendeel van de wortels bevond zich op 0-10 cm beneden maaiveld, met een gering aandeel diepere wortels op 10-20 cm beneden maaiveld. In het gehele monster waren 6 wormen te vinden, verdeeld in regen- en potwormen.

Op de locatie waar zichtbaar gedurende een week water op het land stond waren ook duidelijk witte wortels waar te nemen en was de wortelgroei gestart. In dit monster werden vier wormen gevonden verdeeld in regen- en potwormen.

Op de locatie waar gedurende de gehele periode water op het land stond, was de bodem nog volledig verzadigd. Aan de wortels van het gras was duidelijk te zien dat door zuurstoftekort en wellicht een lagere bodemtemperatuur de grasgroei en wortelgroei nog niet op gang gekomen was. Mogelijk heeft dit te maken met de koude en vochtige omstandigheden van het water dat hier al 4 á 5 weken stond. Alleen in de bovenste laag van 0-7cm werden twee regenwormen gevonden.

Perceel 2

Om een indruk te krijgen hoe het gras op perceel 2 na bevoeiing eruit zag staat in Figuur 4.28 een afbeelding van het perceel op 30 maart en op 26 april 2022. In het midden van de foto's heeft langere tijd water op het land gestaan.



Figuur 4.28 Het grasbestand van perceel 2 na bevoeien op 30 maart (links) en op 26 april 2022 (rechts). Op de voorgrond van de foto heeft langere tijd water op het land gestaan.

Op de plek waar de gehele bevoeiingsperiode water heeft gestaan, was op 30 maart de graszode vrij hol met een geel verkleurd grasbestand. Dit heeft tot groeivertraging geleid. De opener zode geeft ontwikkelingskansen voor onkruid en ongewenst grassen. De zode is daarom ook doorgezaaid. Op 26 april was het grasbestand redelijk gelijkmatig van hoogte en kleur, maar was nog wel een hollere zode te zien.

De wortelontwikkeling en de aanwezigheid van wormen van drie locaties binnen perceel 2 zijn in beeld gebracht met foto's in Figuur 4.29. Daarbij zijn locaties onderscheiden waar in meer en mindere mate water op het land heeft gestaan.



Figuur 4.29 Wortelontwikkeling en aanwezigheid wormen perceel 2 (grasland) op 7 maart 2022 na bevoeien op respectievelijk locaties waar geen water op het land heeft gestaan (boven), zeer weinig water op het land stond (midden) en één week water op het land stond (onder).

Op de locatie waar het water tijdens de hele proef goed infiltreerde en geen vernatting veroorzaakte was de wortelgroei gestart. Het bodem van het betreffende monster was relatief dicht (blokstructuur), waarschijnlijk omdat het monster dicht bij de kopakker van het perceel genomen is. De verdichte structuur is evenals vernatting ook beperkend voor wortelgroei. In dit monster werden drie wormen geteld.

Op de locatie waar zeer weinig water op het land heeft gestaan, werden een aantal witte wortels waargenomen, wat aangeeft dat de wortelgroei gestart was. Ook hier was de bodem redelijk verdicht. De meeste wortels kwamen voor in de laag 0-10 cm en er werd slechts één worm geteld.

Op de locatie waar één week zichtbaar water op het land heeft gestaan op het moment dat er veel regen viel werd geen vertraagde wortelgroei waar genomen. Zelfs op 20 cm diepte werden witte wortels waargenomen. In totaal werden in dit monster twee wormen geteld.

Perceel 3

Op perceel 3 was de uitvloeiing relatief gelijkmatig met alleen in de hoek van het perceel aan de oostelijke kant plasvorming waarbij het gras volledig onder water kwam. Om een indruk te krijgen hoe het gras op perceel 3 na bevoeiing eruit zag staat in Figuur 4.30 een afbeelding van het perceel op 30 maart en op 26 april 2022. Op 30 maart was het gras nog relatief geel van kleur en met op de intensief bevoeide plekken een opener zode door plantuitval. Opvallend was dat op 26 april op het bevoeide gedeelte meer gras groeide dan op het niet bevoeide gedeelte.



Figuur 4.30 *Boven: het grasbestand van perceel 3 na bevoeien op 30 maart. Het gras was nog relatief geel en op plaatsen waar meerdere weken water in het maaiveld stond was de zode opener (midden van de foto). Onder: het grasbestand op 26 april waarbij opviel dat op het bevoeide deel (rechts) meer gras groeide dan op het niet bevoeide hogere deel (links).*

Doordat het relatief nieuw grasland (najaar 2020) betrof is mogelijk het herstel van de graszode relatief goed geweest en heeft het gras geprofiteerd van de gunstige vochtvoorziening na de bevoeiing.

De wortelontwikkeling en de aanwezigheid van wormen van drie locaties binnen perceel 3 zijn in beeld gebracht met foto's in Figuur 4.31. Daarbij zijn locaties onderscheiden waar door bevoeiing wel en geen water op het land heeft gestaan.



Figuur 4.31 Wortelontwikkeling en aanwezigheid wormen perceel 3 (nieuw grasland) op 7 maart 2022 na bevloeiing op respectievelijk locaties waar geen (boven) en wel water op het land heeft gestaan (onder).

Het monster dat genomen is op een hogere gedeelte van het perceel, waar de gehele periode geen water op het land heeft gestaan liet een relatief oppervlakkige beworteling zien. Hier werden vier wormen geteld. Het monster dat in het midden van het perceel op een lager gedeelte werd genomen en waar een week voor de waarneming nog water op het land stond, was de wortelgroei gestart en was het gras groen van kleur. Tevens viel het grote aandeel wortels op in het monster, in het bijzonder in de laag 15-20 cm beneden maaiveld op. In het monster werden vijf wormen geteld.

Perceel 4

Perceel 4 betrof een hoger gelegen esgrond waarbij door bevloeiing geen schade aan de graszode was opgetreden. Om een indruk te krijgen hoe het gras op perceel 4 na bevloeiing eruit zag staat in Figuur 4.32 een afbeelding van het perceel op 30 maart en op 26 april 2022. Op 30 maart was de grasgroei reeds op gang gekomen en was sprake een egale ontwikkeling van het grasbestand. Op 26 april was het gewas verder doorgroeid zonder dat er beperkingen of verschillen binnen het perceel te zien waren.



Figuur 4.32 *Boven: het grasbestand van perceel 4 na bevoeien op 30 maart. Het gras was reeds goed ontwikkeld. Onder: het grasbestand op 26 april waarbij geen nadeel van bevoeiing was waar te nemen.*

De wortelontwikkeling en de aanwezigheid van wormen van drie locaties binnen perceel 4 zijn in beeld gebracht met foto's in Figuur 4.33. De locaties betroffen een relatief hoog gedeelte waar geen water op het land heeft gestaan, een locatie aan de kant van de Varsseleweg dat behoorlijk verzadigd is geweest en een locatie op een lager gelegen gedeelte langs de Vierblokkenweg dat tijdens de waarneming nog relatief nat was.



Figuur 4.33 Wortelontwikkeling en aanwezigheid wormen perceel 4 (grasland) op 7 maart 2022 na bevoeien op respectievelijk een locatie waar geen water op het land heeft gestaan (boven), een locatie dat behoorlijk verzadigd is geweest (midden) en een locatie dat tijdens de waarneming nog relatief nat was (onder).

Het monster dat op het hoger gelegen gedeelte van het perceel was genomen, had een gelijke verdeling van jonge (witte) wortels. In dit monster werden zes wormen geteld. In het tweede monster, waarvan de bodem niet meer volledig verzadigd was, werd een kleinere worteldiepte tot 15 cm beneden maaiveld waargenomen. In het monster werden twee wormen geteld. Het derde monster, dat op een lager gedeelte langs de Vierblokkenweg was genomen, werden duidelijk nieuwe witte wortels waargenomen, ondanks dat de bodem nog verzadigd was. Het aantal wormen in het monster was drie.

Perceel 5

Perceel 5 had een relatief vlakke ligging en lag op afschot naar de sloot waaruit bevoeid werd. Om een indruk te krijgen hoe het gras op perceel 5 na bevoeiing eruit zag staat in Figuur 4.34 een afbeelding van het perceel op 30 maart en op 26 april 2022. Op 30 maart was een egaal grasbestand te zien, zonder dat er sprake was van schade, ondanks dat de bodem lange tijd verzadigd is geweest. Echter is de kwaliteit van de graszode matig waardoor verschillen slecht waarneembaar waren. Op 26 april was het gewas verder doorgegroeid, met alleen enige groeibeperking aan de kant van de sloot waaruit bevoeid werd.



Figuur 4.34 *Boven: het grasbestand van perceel 5 na bevoeien op 30 maart. Het gras had ondanks de verzadigde bodem geen schade ondervonden. Onder: het grasbestand op 26 april waarbij het grasbestand goed ontwikkeld was.*

Doordat tijdens bevoeien water afstroomde richting de sloot van waaruit bevoeid werd en relatief weinig water op het land stond, heeft de graszode van matige kwaliteit, weinig schade opgelopen en werd de grasgroei na bevoeien niet beperkt, afgezien van enige groeibeperking aan de kant van de sloot waar het water naar toe afstroomde.

De wortelontwikkeling en de aanwezigheid van wormen van twee locaties binnen perceel 5 zijn in beeld gebracht met foto's in Figuur 4.35. De monsters zijn genomen bij de dam van het perceel aan de kant van de Jachtweg en nabij de bosrand. Het monster bij de dam was relatief vochtig doordat hier twee weken geleden nog water stond.



Figuur 4.35 Wortelontwikkeling en aanwezigheid wormen perceel 5 (grasland) op 7 maart 2022 na bevoeien op respectievelijk een hoger gelegen locatie met weinig wateroverlast (boven) en een lager gelegen locatie waar veel waterafstroming plaatsvond (onder).

De bodem van het monster dat bij de dam van het perceel was genomen was goed doorworteld. Het aantal wormen was vijf. De bodem van het monster dat nabij de bosrand werd genomen had een geringere beworteling. Hier werd slechts één worm geteld.

Perceel 6

Perceel 6 was een bouwlandperceel begroeid met wintertarwe en betrof zodoende een afwijkende situatie ten opzichte van de graspercelen. Om een indruk te krijgen hoe wintertarwe op perceel 6 na bevoeiing eruit zag staat in Figuur 4.36 een afbeelding van het perceel in de week van 28 februari 2022 direct nadat de bevoeiing gestopt was. De bodem was nog verzadigd en de draagkracht was nog beperkt, maar er was geen sprake van schade, ook niet in het lager gelegen gedeelte waar water op het maaiveld bleef staan. Wel werd hier geelkleuring van het gewas en groeivertraging waargenomen.



Figuur 4.36 Het gewasbestand (winterrogge) van perceel 6 direct na bevoeien in de week van 28 februari 2022. De tarwe had ondanks de plasvorming en verzadigde bodem geen schade ondervonden.

De wortelontwikkeling en de aanwezigheid van wormen van twee locaties binnen perceel 6 zijn in beeld gebracht met foto's in Figuur 4.37. De monsters zijn genomen op een hoog en laag gelegen gedeelte van het perceel. Op het lager gelegen deel kwam tijdens bevoeien de winterrogge onder water te staan.



Figuur 4.37 Wortelontwikkeling en aanwezigheid wormen perceel 6 (winterrogge) op 7 maart 2022 na bevoeien op respectievelijk een hoger gelegen locatie met weinig wateroverlast (boven) en een lager gelegen locatie waar de rogge tijdens bevoeien onder water stond (onder).

De bodem van het monster dat op een hoger gelegen gedeelte van het perceel was genomen liet een redelijk goede beworteling zien, waarbij de wortels startten met groei. In totaal werden drie wormen geteld. De bodem van het tweede monster had de gehele bevoeiingsperiode onder water gestaan. Hierdoor was de rogge geel verkleurd en was de bovengrond dichtgeslemt. De wortelontwikkeling was zodoende nog niet op gang gekomen. Er werden nog geen witte wortels en wormen waargenomen.

4.4 Effecten bevoeiing op stikstofuitspoeling

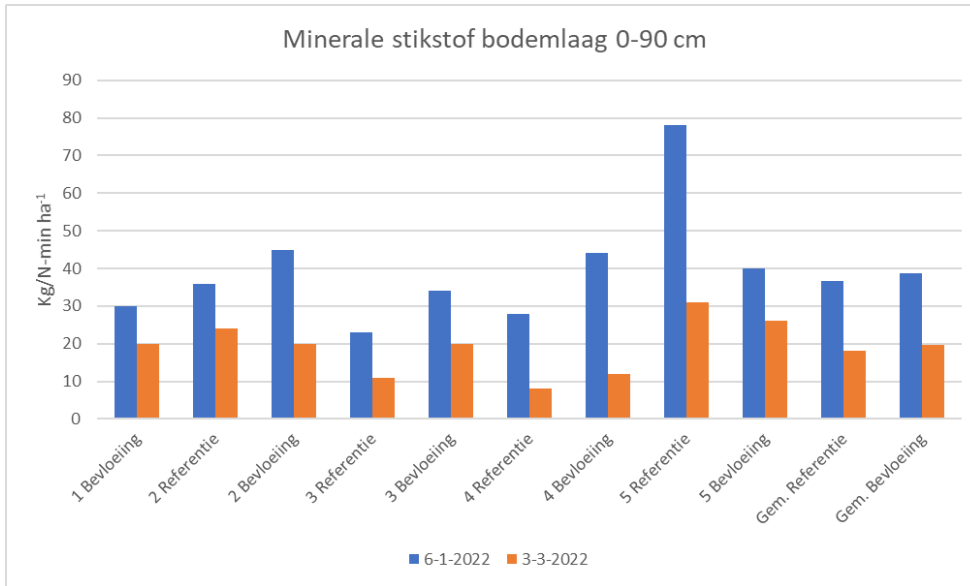
Op elke locatie is bij zowel het uitvloeipunt van bevoeiing als een referentiepunt welke niet werd beïnvloed door bevoeiing, een bodemmonster genomen (bodemplagen 0-30, 30-60, 60-90 cm) en geanalyseerd op de hoeveelheid aanwezig minerale stikstof (N-min). Deze monsters zijn genomen voor aanvang van bevoeiing (06-01-2022) en na het stoppen van bevoeiing (03-03-2022). De minerale stikstof is de fractie welke gevoelig is voor uitspoeling. De grenswaarde bij droge zandgrond ligt op 92 kg N-min.ha⁻¹ voor de totale bodemlaag 0-90 cm. Wanneer de N-min hoger is dan deze grens, is de kans groot dat de hoeveelheid nitraat boven de landelijke nitraatnorm komt van 50 mg NO₃.l⁻¹. Deze 50 mg NO₃.l⁻¹ is omgerekend 11,3 mg N.l⁻¹. Bij een gemiddeld neerslagoverschot van 300 mm per jaar mag maximaal 11,3*(300/100) = 34 kg N.ha⁻¹.jaar⁻¹ uitspoelen (Fraters et al., 2007). De uitspoelingsfractie van zandgrond met een grondwatertrap VII is 0,37. Dit betekent dat 37 % van de minerale N in de bodem uitspoelt naar het grondwater. Dus wanneer de N-min onder de, 34/0,37=92 kg.ha⁻¹ blijft, is de kans klein dat de nitraatnorm van 50 mg NO₃.l per jaar wordt overschreden. Uitspoeling van nitraat treedt alleen op wanneer de bodem zeer vochtig is, natter dan veldcapaciteit (pF<2.0). Onder dergelijke natte omstandigheden treedt wegzijging van water uit de wortelzone naar de ondergrond op en wordt het grondwater aangevuld.

De variatie in N-min op 6-1-2022 was relatief groot, zowel tussen als binnen percelen (Tabel 5) met als gemiddelde waarde van 37,6 kg N-min.ha⁻¹. Geen enkel perceel overschreed de grenswaarde van 92 kg kg.ha⁻¹ in de bodemlaag 0-90 cm (Figuur 4.38). De variatie tussen de percelen is te verklaren door een verschil in bodemtype en graslandgebruik. Het verschil binnen de percelen is mogelijk te verklaren door verschil in grasbezetting en botanische samenstelling van de graszode. De botanische samenstelling van perceel 5 was zeer matig met een relatief groot aandeel matige grassoorten en kruiden. Daarbij hebben op dit perceel pinken geweid in het najaar van 2021 waardoor de N-min kan variëren door stikstofrijke urineplekken.

De N-min meting op 3-3-2022 was gemiddeld 18,9 kg N-min.ha⁻¹ (bodemlaag 0-90 cm) en dit was 18,7 kg N-min.ha⁻¹ lager dan de hoeveelheid op 06-01-2022. Hierbij was er geen verschil tussen bevoeien en de referentie. Het verlies aan minerale stikstof bij de referentie is een gevolg van het neerslagoverschot in de periode van 17 januari tot 28 februari. Bevoeiing leidde nauwelijks tot extra verlies aan Nmin.

Tabel 5 Gemeten minerale stikstof (kg N-min.ha⁻¹) in de bodem voor- en na bevoeiing (Bevl.) op 06-01-2022 en 03-03-2022. N-min is gemeten op drie verschillende dieptes: 0-30, 30-60, 60-90 cm. De referentiebodemonsters (Ref.) zijn genomen op een plek in het perceel welke niet beïnvloed werd door bevoeiing. De bijdrage NO₃ aan het grondwater is berekend op basis van een uitspoelingsfractie van 37% (Fraters et al., 2007).

Datum monstername	Perceel	1		2		3		4		5		Gemiddelde	
		Bodemlaag (cm)	Ref.	Bevl.	Ref.	Bevl.	Ref.	Bevl.	Ref.	Bevl.	Ref.	Bevl.	Ref.
6-1-2022	0-30	14	12	25	25	15	18	10	17	47	20	22,2	18,4
3-3-2022	0-30	10	10	17	16	2	6	4	6	12	19	9	11,4
6-1-2022	30-60	2	16	7	11	6	11	10	16	17	12	8,4	13,2
3-3-2022	30-60	5	5	5	2	7	6	2	4	9	5	5,6	4,4
6-1-2022	60-90	2	2	4	9	2	5	8	11	14	8	6	7
3-3-2022	60-90	2	5	2	2	2	8	2	2	10	2	3,6	3,8
6-1-2022	0-90	18	30	36	45	23	34	28	44	78	40	36,6	38,6
3-3-2022	0-90	17	20	24	20	11	20	8	12	31	26	18,2	19,6
N-Min uitgespoeld (laag 0-90cm)	Kg.ha ⁻¹	1	10	12	25	12	14	20	32	47	14	18,4	19



Figuur 4.38 Minerale stikstof in bodemlaag 0-90 cm (kg N-min.ha⁻¹) in de bodem voor bevloeiing op 06-01-2022 en na bevloeiing op 03-03-2022.

4.5 Effecten bevloeiing op mineralen

Voor aanvang van bevloeiing (14-01-2022) en na bevloeiing (03-03-2022) zijn op dezelfde locatie als waar de N-min bemonstering heeft plaatsgevonden, ook bodemmonsters genomen (0-20 cm) om de minerale samenstelling en bemestingstoestand vast te stellen. Onderzocht is of bevloeiing de gehalten beïnvloed heeft. Het klei-humus complex of de CEC (Cation Exchange Capacity, bindingscapaciteit kleihumuscomplex) is een maat voor het vermogen van de bodem om nutriënten te binden (<https://www.handboekbodemenbemesting.nl/>). Onder zure omstandigheden verliezen de organischestofdeeltjes hun negatieve lading en daarmee hun vermogen kationen ten binden, zoals calcium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺) en kalium (K⁺). CEC wordt gebruikt voor de beoordeling van de potentiële structuur op basis van de verhouding tussen calcium, magnesium en overige kationen aan het klei-humuscomplex. De werkelijke structuur is echter ook afhankelijk van weersomstandigheden en bodemgebruik.

Het verschil tussen de bodemanalyses die genomen zijn voor en na bevloeiing staat in Tabel 6. Wat opvalt is dat de standaard deviatie tussen de percelen in bijna alle gevallen hoger was dan de gemiddelde waarde. Dit kan betekenen dat de data niet betrouwbaar waren. Onbekend is waarom de variatie zo groot was.

Tabel 6 Verschil bodemanalyses tussen vóór bevloeiing (14-01-2022) en na bevloeiing (03-03-2022), zowel van de bevloeiingsplekken in het perceel als de referentie welke niet beïnvloed werd door bevloeiing.

Verschil	Perceel 1		Perceel 2		Perceel 3		Perceel 4		Perceel 5		Gemiddelde			
	Bevl.	Ref.	Bevl.	Ref.	Bevl.	Ref.	Bevl.	Ref.	Bevl.	Ref.	Bevl.	St. dev.	Ref.	St.dev.
N-bodemvoorraad (kg N.ha ⁻¹)	310	-490	840	-150	-270	390	230	-120	-410	260	140	447	-22	314
N-leverend vermogen (kg N/ha)	10	-5	10	0	-15	5	0	0	-10	10	-1	10	2	5
P-plantbeschikbaar (kg P.ha ⁻¹)	-0,5	-0,9	0	-0,7	-0,3	0,3	-3,4	-0,5	1,4	-0,7	-0,6	2	-1	0
P-bodemvoorraad (kg P.ha ⁻¹)	-30	-20	-20	-5	-25	30	35	65	45	25	1	32	19	30
K-plantbeschikbaar (kg K.ha ⁻¹)	15	-5	-45	-20	-30	-50	10	0	-30	-40	-16	24	-23	19
K-bodemvoorraad (kg K.ha ⁻¹)	-10	10	-105	-70	0	10	50	20	-35	-50	-20	51	-16	37
Calcium (kg Ca.ha ⁻¹)	105	-110	20	0	-125	-100	60	0	0	80	12	77	-26	71
Magnesium (kg Mg.ha ⁻¹)	-90	-10	-10	-35	10	-60	5	0	15	40	-14	39	-13	34
CEC (mmol.kg ⁻¹)	2	3	43	-11	7	-8	4	8	6	1	12,4	15	-1	7

4.6 Modellerings grasgroei

Om het verschil in grasopbrengst tussen wel en niet bevoeien te kwantificeren is het prototype webapplicatie GrasSignaal van WLR gebruikt. De gemoduleerde resultaten voor de bodemvochttoestand en grondwaterstand met en zonder bevoeien staan in Bijlage 4. Tevens zijn per perceel de gemiddelde gemeten grondwaterstanden van alle peilbuizen weergegeven. De gesimuleerde grondwaterstand was redelijk vergelijkbaar met de gemeten grondwaterstand. Bij het model steeg de grondwater sneller tot in het maaiveld. Voor perceel 4 werd de grondwaterstand in de periode van bevoeien overschat. Voor de simulatie van de grasgroei had dit echter geen effect.

Voor de behandeling bevoeiing was de gesimuleerde grasgroei begin maart, na het stoppen van bevoeien, lager dan die van de referentie door zuurstofstress als gevolg van vernatting, maar eind april verhoogde de grasgroei ten opzichte van de referentie, doordat langer geprofiteerd werd van capillaire opstijging van bodemvocht uit het grondwater.

Gemiddeld werd voor bevoeiing een hogere drogestofopbrengst van 580 kg.ha⁻¹ gesimuleerd dan voor de referentie, door gemiddeld 24 extra dagen met capillaire opstijging en 15 dagen uitstel van vochtlimitatie voor de eerste en tweede snede tot 10 juni 2022. Hierbij was de variatie tussen percelen groot. Voor perceel 2 en 4 met een relatief lage grondwaterstand (bevoeiing 'bovenaf') was de opbrengstverhoging respectievelijk 1338 en 684 kg ds.ha⁻¹. Het moment dat later in het voorjaar vocht limiterend werd met respectievelijk 16 en 38 dagen uitgesteld. Zonder bevoeiing was er geen sprake van capillaire opstijging en was de grasgroei volledig afhankelijk van beschikbaar bodemvocht en neerslag (hangwater profiel). Voor perceel 1, 3 en 5 met een relatief hoge grondwaterstand was ook in de referentiesituatie sprake van grondwaterinvloed. Voor de bevoeide situatie was de opbrengst op deze percelen hoger doordat vocht later limiterend was (respectievelijk 10, 7 en 3 dagen). De extra waterbehoefte door de extra grasopbrengst is niet gekwantificeerd. Een overzicht van de resultaten staat in Tabel 7.

Tabel 7 Gemodelleerde effecten bevoeiing op het extra aantal dagen capillaire opstijging, de vermindering van het aantal dagen met vochtlimitatie en de grasopbrengst. Voor perceel 2 en 4 werd het extra aantal dagen capillaire werking bepaald vanaf 28-02-2022.

Locatie	Extra dagen capillaire werking (#)			Minder dagen vochtlimitatie (#)			Grasopbrengst tot 10 juni (kg ds.ha ⁻¹)		
	Referentie	Bevoeiing	Verschil (# dagen)	Referentie	Bevoeiing	Verschil (# dagen)	Referentie	Bevoeiing	Verschil (kg ds.ha ⁻¹)
1	17-4-2022	30-4-2022	13	3-5-2022	13-5-2022	10	5617	5980	363
2	niet	17-4-2022	48	18-4-2022	4-5-2022	16	3846	5184	1338
3	22-3-2022	26-4-2022	35	24-4-2022	1-5-2022	7	4577	4961	384
4	niet	15-3-2022	15	11-3-2022	18-4-2022	38	3100	3784	684
5	18-4-2022	27-4-2022	9	29-4-2022	2-5-2022	3	5308	5439	131
Gemiddeld			24			15	4490	5070	580

5 Discussie

5.1 Bevloeiing en neerslag

De hoogte van het maaiveld varieerde aanzienlijk binnen de proefpercelen. Hier is met de keuze van de ligging van de uitvloeings slang rekening mee gehouden, door deze op een relatief hoog punt van het perceel te plaatsen. Dit zorgde echter wel voor afstroming van water via het maaiveld naar laag gelegen gedeelten. Op perceel 5 zorgde dit zelfs voor terugstroming van bevoeiingswater naar de sloot waar het water uitgepompt werd. Dit maakte bevoeiing minder effectief.

Tijdens de periode van bevoeien viel totaal 134 mm neerslag. Dit was gemiddeld 3,1 mm per dag en leidde tot een grondwaterstandstijging van ruim 60 cm in referentiepeilbuizen buiten het bevoeiingsgebied. De gemiddelde hoeveelheid bevoeiing van 14,6 mm per dag had zodoende nog 3,1 mm hoger kunnen zijn. Het totaal zou dan gemiddeld 17,7 mm per dag zijn geweest.

Op de proeflocaties 1, 3 en 5 met de relatief hogere grondwaterstanden werd gemiddeld 11,8 mm per dag bevoeid en op de proeflocaties 2, 4 en 6 met de relatief diepere grondwaterstanden werd gemiddeld 29,4 mm per dag bevoeid. Perceel 5 lag op afschot naar de sloot van waaruit gepompt werd, waardoor een overschot aan water terugstroomde naar de sloot en dit het bevoeien minder effectief maakte. Op perceel 2 kon, ondanks de relatief lage grondwaterstand, in vergelijking met perceel 4 en 6 aanmerkelijk minder bevoeid worden door de slechte indringing van water in de bodem. Zeer waarschijnlijk is de waargenomen bodemverdichting hier beperkend geweest voor infiltratie (zie ook paragraaf 5.3).

Voor de bevoeiing is een periode van zes weken ruim 90.628 m³ water verpompt op bijna 14,5 ha. Dit kost relatief veel energie en gaat gepaard met hoge kosten. Het verdient aanbeveling om te zien of er duurzamere mogelijkheden zijn om infiltratie te bevorderen met een geringer energiegebruik. Zie verder Hoofdstuk 7 Perspectief.

5.2 Grondwaterstanden

De locatie waar de uitvloeings slang was geplaatst had invloed op de mate van infiltratie en daarmee op de grondwaterstand. Een grondwaterstijging door bevoeiing binnen de percelen was duidelijk meetbaar, weliswaar lokaal maar wel langdurig. De ligging van het maaiveld speelde hierbij een belangrijke rol.

In de omgeving van de bevoeiingspercelen (referentiepeilbuizen HHW en VBW) werd geen verhoging van de grondwaterstand door bevoeiing gemeten. De referentiepeilbuizen stonden op relatief hoge gronden en hadden zodoende niet altijd dezelfde positie in het hydrologisch systeem als die van de peilbuizen in de proefpercelen. Aangenomen werd dat de grondwaterdynamiek vergelijkbaar was, omdat de grondwaterstanden op de hoge gronden in 't Klooster helemaal uitgezakt waren en het natuurlijke watersysteem niet meer actief was.

Voor een grotere invloedssfeer en het daadwerkelijk kunnen bijgedragen aan het herstel van het natuurlijk watersysteem zou het areaal bevoeiing nog aanmerkelijk vergroot moeten worden. Hierbij kan met bevoeien van 'boven af' op relatief hoge percelen (enkeerd) met lage grondwaterstanden en een goed bodemstructuur (perceel 4 en 6) meer dan twee keer zo veel water bevoeid worden dan bij lage percelen met relatief hoge grondwaterstanden. Bij een goede infiltratie geeft dit bovendien nauwelijks risico op schade aan de graszode. Door de relatief grote invloed op de grondwaterstand kan dit ook nog effect op de grondwaterstand van naastgelegen lagere percelen hebben. Bevoeien van 'onder af' op laag gelegen percelen met een relatief hoog grondwaterniveau is minder effectief, omdat de bodem eerder verzadigd is en de kans groter is dat water op het maaiveld blijft staan, waardoor schade aan de graszode kan optreden.

De ervaring leert dat na een droge zomer een bovengrond pas na langdurige neerslag weer op veldcapaciteit komt. Bij zowel bevoeien 'van bovenaf' als 'van onderaf' werd de bovengrond volledig verzadigd. Dit betekent dat bevoeien na een droge zomer effectief is voor herbevochtiging en het op veldcapaciteit brengen van de bovengrond en het herstellen van het watertransport in de bodem.

Op basis van de grondwaterstandsmetingen kon geen uitspraak worden gedaan over een verschil in capillaire nalevering vanwege verschil in maaiveldhoogtes tussen de proefpercelen en de referentiepeilbuizen in de omgeving. De hoogte van de grondwaterstanden ten opzichte van NAP waren wel redelijk vergelijkbaar, waardoor wel een verschil in extra dagen op de verhoging in de grondwaterstand bepaald kon worden. De dynamiek van het verloop van de grondwaterstanden werd beïnvloed door bevoeiing en de verschillende mate van wegzijging en dat maakte een vergelijk met de referentiegrondwaterstanden lastiger.

De effecten van bevoeiing op de grondwaterstand staan in Tabel 8 voor de peilbuis waar het grootste effect op de grondwaterstand werd gemeten ten opzichte van een niet beïnvloedde referentie peilbuis in de omgeving. Vermeldt staan de afstand tot de uitvloeibuis, de verhoging van de grondwaterstand, het aantal extra dagen met een verhoogde grondwaterstand ten opzichte van een referentie peilbuis in de omgeving (inclusief 43 dagen bevoeiing).

Tabel 8 Afstand tot de uitvloeibuis, de verhoging van de grondwaterstand, het aantal extra dagen met een verhoogde grondwaterstand ten opzichte van een referentie peilbuis in de omgeving (inclusief 43 dagen bevoeiing) per perceel voor de afstand tot de uitvloeibuis waarbij het effect op de grondwaterstand het grootst was. Per perceel is aangegeven welke bevoeiingsstrategie is gehanteerd; het vullen van het natuurlijke watersysteem 'van bovenaf' op de hogere esgronden en het verhogen van de grondwaterstand 'van onderaf' in de lage beekdalen.

Perceel	Afstand tussen uitvloeibuis en laagtes met grootste effect op grondwaterstand (m)	Maximale verhoging grondwaterstand (cm)	Start bevoeiing (datum)	Eind verhoging grondwaterstand (datum)	Extra dagen verhoging grondwaterstand (# dagen)
1 (onderaf)	50	88	17-1-2022	29-4-2022	102
2 (bovenaf)	25	88	17-1-2022	13-5-2022	116
3 (onderaf)	125	98	17-1-2022	1-7-2022	165
4 (bovenaf)	100	109	17-1-2022	8-4-2022	81
5 (onderaf)	50	26	17-1-2022	8-4-2022	81
6 (bovenaf)	6	33	17-1-2022	18-3-2022	60
Gemiddeld	59	74	17-1-2022	27-4-2022	101

5.3 Gewasontwikkeling en wormen

De schade aan de graszode was lokaal en afhankelijk van de mate van water op het maaiveld en daarbij is vooral sprake van een opener zode door het uitvallen van planten. Een open graszode geeft groeireductie en vergroot het risico op onkruid en ongewenste grassen. Het opheffen van een open zode door middel van doorzaaien brengt kosten met zich mee. Een vertraagde start van de grasgroei in het voorjaar werd in het veld bevestigd door de afwezigheid of een gering aandeel nieuwe (witte) wortels.

Op perceel 1 kwam plasvorming voor door verschillen in maaiveldhoogte, waardoor het water zich op één plek concentreerde. Op perceel 2 vond afstroming van water plaats en dit leidde op een deel van het perceel tot plasvorming ondanks dat hier niet echt sprake is van een laagte. Waarschijnlijk is de waargenomen bodemverdichting hier beperkend geweest voor infiltratie. Bodemverdichting leidde mogelijk ook tot een geringer aandeel wortels en minder wormen. Op perceel 3 (nieuw grasland) en 4 (enkeerdgrond) was de bodemstructuur relatief goed en hier trad geen schade op.

Op perceel 5 bleef ook langdurig water staan, echter dit was niet terug te zien in de gemeten grondwaterstanden, omdat telkens 12 uur voor de meting de pomp werd uitgezet om het water te laten zakken voor het kunnen uitvoeren van de metingen. De kwaliteit van de graszode was bij aanvang reeds matig, waardoor onduidelijk is in hoeverre bevoeiing effect heeft gehad op de graszode en de grasgroei.

5.4 Uitspoeling nitraat

Gemiddeld nam de hoeveelheid minerale stikstof in de bodemlaag 0-90 cm af met 18,7 kg N-min.ha⁻¹ tijdens de bevoeiingsperiode (17-01-2022 tot 28-02-2022). Hierbij was er geen verschil tussen de referentie (zonder bevoeiing) en bevoeiing. Door bevoeiing werd de bodem dusdanig vernet dat het opgebrachte water doorstroomde naar het grondwater. In de periode van bevoeiing viel 134 mm neerslag, waardoor ook op de referentie verlies van N-min optrad. Het beperkte verlies van N-min leidde zeer waarschijnlijk niet tot een verhoging van de nitraatconcentratie. Door de relatief grote hoeveelheden water in de vorm van bevoeiing en neerslag leidde dit eerder tot een verlaging van de nitraatconcentratie door verdunning.

Gemiddeld op jaarbasis is het neerslagoverschot 300 mm en dit overschot is door bevoeiing met gemiddeld met 654 mm verhoogd tot 954 mm. Hierdoor werd in theorie de nitraatconcentratie in het grondwater met een factor 3 verlaagd.

5.5 Modelling grasgroei

Bevoeiing werd met het model gesimuleerd door de dagelijkse opgebrachte hoeveelheid water als neerslag in het GrasSignaal in te voeren. Daarbij werd uitgegaan van gelijke ruimtelijke verdeling van de bevoeiing over het perceel terwijl dit in werkelijkheid niet het geval was. Door een ongelijke verdeling ontstond schade aan de graszode in laagtes, vooral op perceel 1, 2 en 5. De gesimuleerde grasgroei geeft zodoende een beeld van de gemiddelde situatie, terwijl in werkelijkheid sprake geweest zal zijn van variatie in grasgroei.

6 Conclusies

- In totaal is op zes landbouwpercelen met een totale oppervlakte van bijna 14,5 ha 90.628 m³ bevoeid. Dit is 626 mm of 14,6 mm per dag.
- Op de percelen met relatief hoge grondwaterstanden (bevloeien 'van onderaf') werd gemiddeld 508 mm of 11,8 mm per dag bevoeid.
- Op de percelen met relatief lage grondwaterstanden (bevloeien 'van bovenaf') werd gemiddeld 765 mm of 17,8 mm per dag bevoeid. Zonder perceel 2, waar de infiltratie beperkt werd door bodemverdichting, was dit gemiddeld 1277 mm of 30 mm per dag.
- Door de veelal aanzienlijk hoogteverschillen binnen de percelen trad afstroming van water naar laaggelegen delen op, waardoor op een aantal plaatsen water op het maaiveld kwam te staan of in een enkel geval zelfs water terugstroomde naar de sloot. Dit maakte bevloeien minder effectief.
- Gemiddeld over de proefpercelen verhoogde bevloeiing de grondwaterstand met 74 cm, op de plaats waar het effect op de grondwaterstand het hoogst was ten opzichte van een referentiepeilbuis in de omgeving. Dit was gemiddeld op 59 m van de uitvloeiingsbuis, echter dit hield nauw verband met lage plekken in de percelen waar het meeste water infiltreerde. De grondwaterstandsverhoging duurde gemiddeld 101 dagen. Het berekende aantal dagen met een verminderde beperking van de vochtbeschikbaarheid in de wortelzone voor gras bedroeg gemiddeld 15 dagen.
- Daar waar gras geheel onder water stond, leidde dit tot een beperkte schade aan de graszode in de vorm van een verminderde grasbezetting in de graszode en een vertraagde start van de grasgroei. Het aantal wormen leek hierbij geringer te zijn. Een goede bodemstructuur bevordert infiltratie en geeft minder risico op schade aan de graszode, groeivertraging en reductie van het aantal wormen.
- Bevloeien leidde niet tot een groter verlies aan minerale stikstof. Door bevloeiing met een hoeveelheid die het neerslagoverschot op jaarbasis overstijgt, zal door een verdunningseffect bevloeiing eerder tot een verlaging dan een verhoging van de nitraatconcentratie in het grondwater leiden.
- Verlies aan mineralen en een verandering van CEC kon niet worden aangetoond.
- De gesimuleerde grasgroei was voor bevloeiing aanvankelijk lager door de sterke vernatting (zuurstofstress in de wortelzone), maar verhoogde later in het voorjaar als gevolg van een verminderde vochtbeperking. Uiteindelijk was de grasopbrengst voor bevloeien gemiddeld 580 kg drogestof per ha hoger voor de eerste twee grassneden tot 10 juni 2022. In werkelijkheid zal door de ongelijke uitvloeiing sprake geweest zijn van variatie in grasgroei.
- Vooral op (hogere) percelen met een relatief lage grondwaterstand heeft bevloeien potentie voor herstel van het natuurlijk watersysteem. Geïnventariseerd moet worden op welke schaal bevloeiing het grondwater substantieel aanvult.
- Bevloeien heeft als bijkomend voordeel dat na een droge zomer de bovengrond op veldcapaciteit gebracht wordt en het watertransport in de bodem herstelt.
- Aanbevolen wordt om te zien hoe het energieverbruik voor het oppompen van water verminderd of verduurzaamd kan worden. Op lage percelen met een relatief hoog slootpeil is sub irrigatie te overwegen als alternatief voor bevloeien. Dit bespaart energie en beperkt groeireductie en schade aan de graszode.

7 Perspectief

Op goed infiltrerende bodems, in het bijzonder de hoger gelegen enkeerdgronden met een relatief lage grondwaterstand, heeft bevoeien potentie voor herstel van het natuurlijk watersysteem. Het grondwater kan op dergelijke gronden worden aangevuld zonder veel risico op groeireductie en schade aan de graszode. Wel dient met afstroming naar lager gelegen gedeelten rekening gehouden te worden, omdat dit de infiltratiecapaciteit verkleint en de effectieve bevoeiingsoppervlakte beperkt. Bij het 'van boven af' bevoeien kon meer dan twee keer zo veel water geïnfiltreerd worden als bij het 'van onderaf' bevoeien. Voor een grotere invloedssfeer en het daadwerkelijk kunnen bijgedragen aan het herstel van het natuurlijk watersysteem zou het areaal bevoeiing nog aanmerkelijk vergroot moeten worden. Geïnteriseerd moet worden op welke schaal bevoeiing het grondwater substantieel aanvult.

Het opbrengen van water met bevoeien kost veel energie. Het verdient aanbeveling om te zien of het energieverbruik verminderd of verduurzaamd kan worden en of er alternatieve mogelijkheden zijn om infiltratie te bevorderen. Op relatief lage percelen is sub-irrigatie direct vanuit oppervlaktewater te overwegen, temeer omdat hier sneller schade aan de graszode en groeireductie optreedt door bevoeiing en het perceelsbreed toe te passen is. De verwachting is dat de aanlegkosten voor sub-irrigatie opwegen tegen de energiekosten voor het oppompen van water.

Ook tijdens piekbuien in het zomerhalfjaar kan sub-irrigatie een bijdrage leveren aan het infiltreren van oppervlaktewater en het vergroot de bergingscapaciteit van het watersysteem. Het verlaagt het risico op wateroverlast in lagere gelegen percelen in beekdalen en daarmee kan het waterbeheer meer op water vasthouden gericht worden. Het streven naar vasthouden van water in het vroege voorjaar wordt ondersteund door het feit dat de zonnestraling in het voorjaar gestaag toeneemt (KNMI). De gewasverdamping wordt hierdoor verhoogd, waardoor het vochtgehalte van de bodem sneller daalt. Dit wordt bevestigd door de relatief snelle overgang van de natte winterperiode naar een drogere voorjaarsperiode in de afgelopen jaren. Dit vermindert het belang van het afvoeren van water in het vroege voorjaar om vroeg het land op te kunnen, vooral voor het uitrijden van drijfmest.

Het toepassen van sub-irrigatie bespaart de arbeid die nodig is voor bevoeien, maar vraagt wel arbeid voor de aansturing van het drainagesysteem. Bij voorkeur wordt gebruik gemaakt van een centraal in- en uitlaatpunt met een flexibel in te stellen drainagedrempel, zoals dat bij peilgestuurde drainage het geval is.



8 Literatuur

Berghuis-van Dijk J T 1985 WATBAL: A simple water balance model for an unsaturated-saturated soil profile. Institute for Land and Water Management Research, Wageningen, Note No 1670. 23 p.

Fraters, B. L.J.M. Boumans, T.C. van Leeuwen en J.W. Reijs, 2007. De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven. RIVM, Bilthoven. RIVM Rapport 680716002/2007.

Holshof G. and A. van den Pol-van Dasselaar, 2014. Modelling DM growth of multi-species grassland plots in the Netherlands. Grassland Science in Europe, Vol. 19, 725-727.

Kleinsman, W.B. en A. Scholten en G. Rutten (1973). Ruilverkavelingsgebied Hengelo – Zelhem. De bodemgesteldheid. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering, rapport 959.

Walvoort, R. J. Eekelder, M. Dinkelman, H. Mentink en D. Nieuwenhuis, 2021. Rapportage bevoeiingspilot 't Klooster. Rapportage waarin de meetresultaten van de bevoeiingspilot worden beschreven. Hengelo, Agro-Innovatiecentrum De Marke. Rapport 2021-001.

Links

[KNMI - Zonnige maand past in trend voorjaar](#)

[Verdamping | STOWA](#)

Bijlage 1 Bodemtype percelen

Bodemtypering proefpercelen volgens Bodemkaart ruilverkavelingsgebied Hengelo – Zelhem

Perceel 1

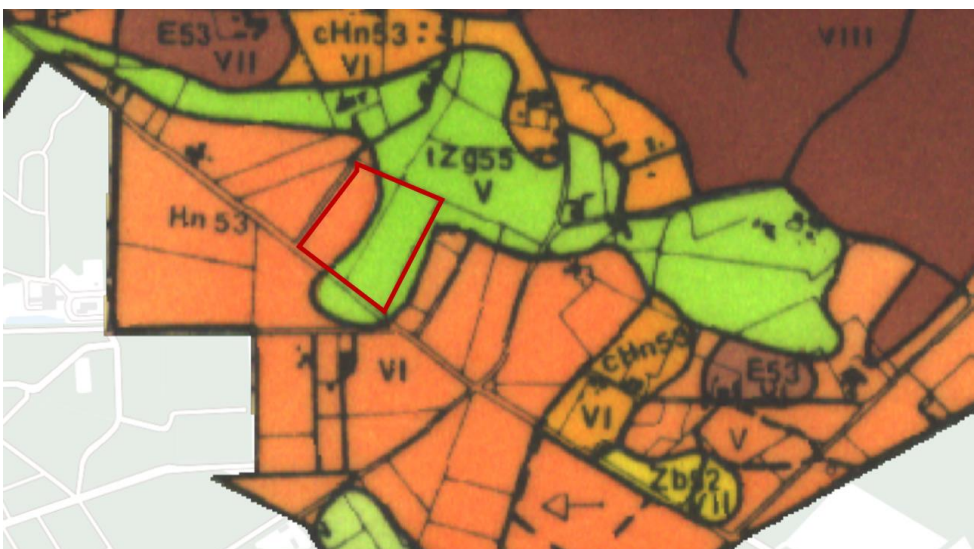
tZg55 -V. Beekeerdgrond sterk matig lemig fijn zand, De GxG van deze kaart is verouderd. Deze grond valt onder de humuspodzolgronden, hierbij is de humushoudende bovengrond dunner dan 30cm. Eén van de hydromorfe kenmerken is nat, dit betekent dat er geen ijzerhuidjes aanwezig zijn. De zandfractie van de grond is beoordeeld als fijn zand omdat de korrels kleiner dan 210 µm zijn. Het is een leemarm/zwak lemige grond, dit betekent dat het minder dan 17,5% leem bevat en daardoor minder goed nutriënten vasthoudt. Zie Figuur 1 voor de weergave van perceel 1 volgens de Bodemkaart van het ruilverkavelingsgebied Hengelo–Zelhem (schaal 1:10.000; Kleinsman et al.,1973).



Figuur 1 Perceel 1 volgens de Bodemkaart van het ruilverkavelingsgebied Hengelo–Zelhem (schaal 1:10.000; Kleinsman et al.,1973).

Perceel 2

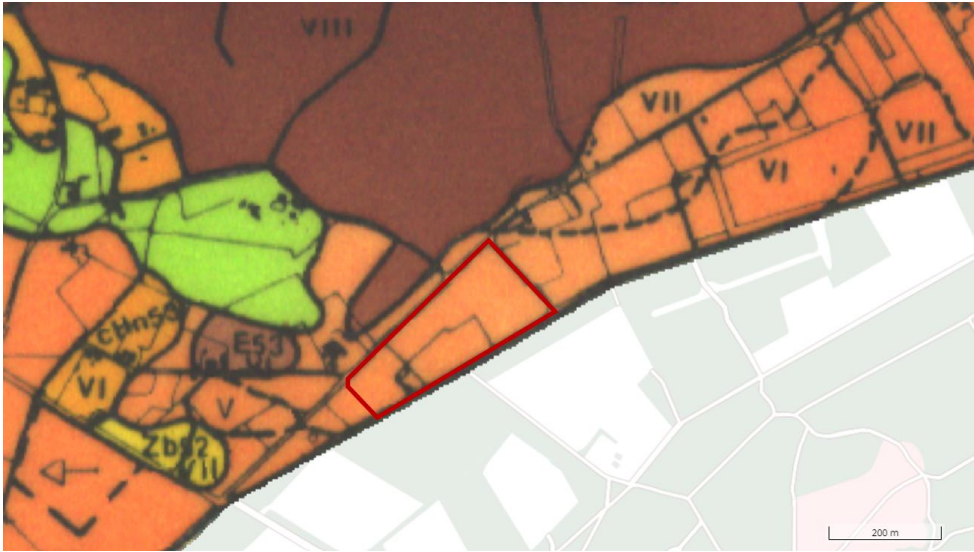
Hn53 VI Veldpodzolgrond; leemarm en zwak lemig fijn zand. Zie Figuur 2 voor de weergave van perceel 2 volgens de Bodemkaart van het ruilverkavelingsgebied Hengelo–Zelhem (schaal 1:10.000; Kleinsman et al.,1973).



Figuur 2 Perceel 2 volgens de Bodemkaart van het ruilverkavelingsgebied Hengelo–Zelhem (schaal 1:10.000; Kleinsman et al.,1973).

Perceel 3

Hn 53 VI Veldpodzolgrond; zwak lemig fijn zand. Dit perceel is in 2020 voorzien van een laagje klei. Zie Figuur 3 voor de weergave van perceel 3 volgens de Bodemkaart van het ruilverkavelingsgebied Hengelo–Zelhem (schaal 1:10.000; Kleinsman et al.,1973).



Figuur 3 Perceel 3 volgens de Bodemkaart van het ruilverkavelingsgebied Hengelo–Zelhem (schaal 1:10.000; Kleinsman et al.,1973).

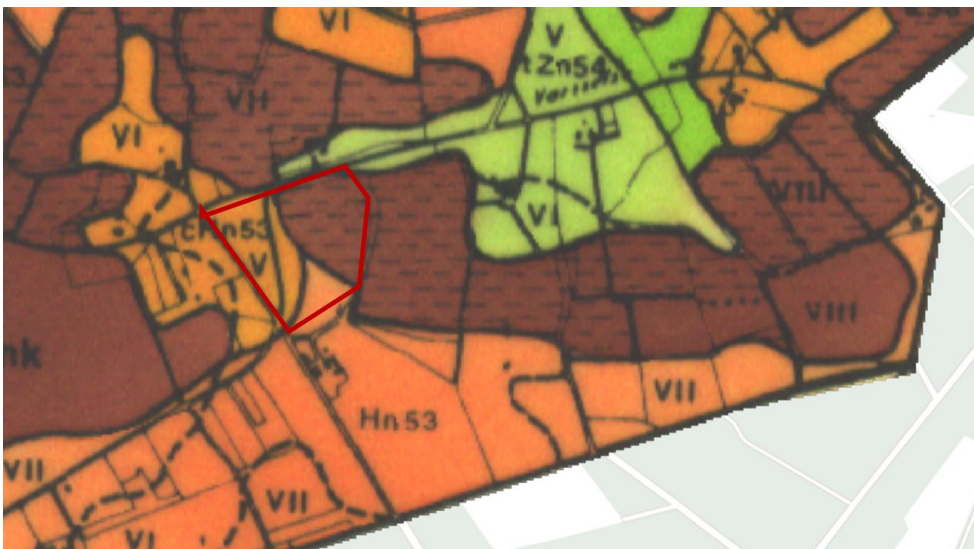
Perceel 4

Laag gelegen deel cHn53V

Het lage deel van dit perceel betreft een laarpodzolgrond. Deze bodem heeft een matig dikke (35-50 cm) humushoudende bovengrond en bestaat uit zwak lemig matig fijn zand. Tijdens de opname van de bodemkaart fluctueerde de grondwaterstand tussen <40 cm -mv. in de winter en >120 cm -mv. in de zomer.

Hoge es E53- VIII Hoge zwarte enkeerdgrond; zwak lemig fijn zand, GHG>140 GLG: >180 cm -mv

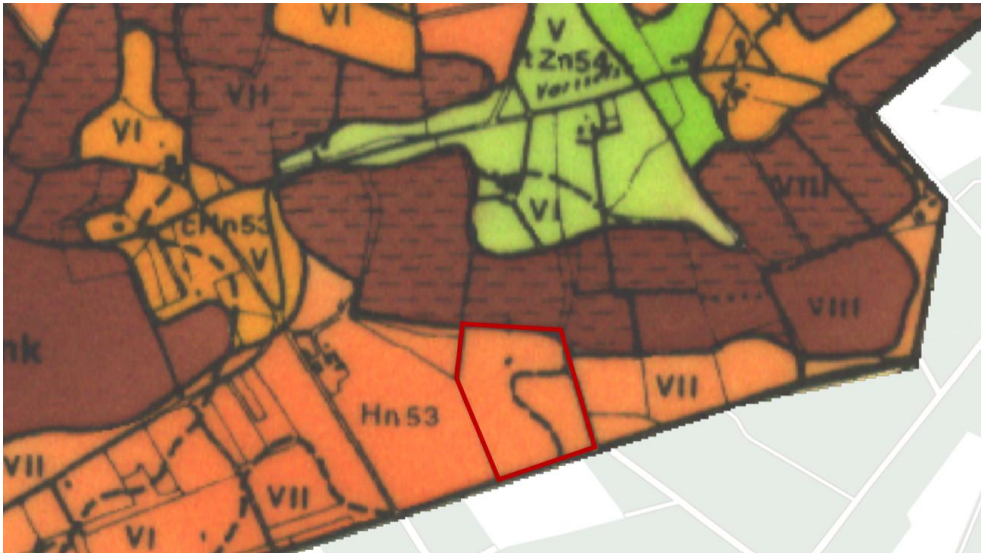
Deze grond is een dikke eerdgrond, met een zwarte minerale eerdlaag bovenop. Het is een hangwaterprofiel waarbij het gewas afhankelijk is van de hoeveelheid vocht die in de bovengrond vastgehouden kan worden. Door de dikke humushoudende bovenlaag is de hoeveelheid beschikbaarvocht nog relatief hoog. Zie Figuur 4 voor de weergave van perceel 4 volgens de Bodemkaart van het ruilverkavelingsgebied Hengelo–Zelhem (schaal 1:10.000; Kleinsman et al.,1973).



Figuur 4 Perceel 4 volgens de Bodemkaart van het ruilverkavelingsgebied Hengelo–Zelhem (schaal 1:10.000; Kleinsman et al.,1973).

Perceel 5

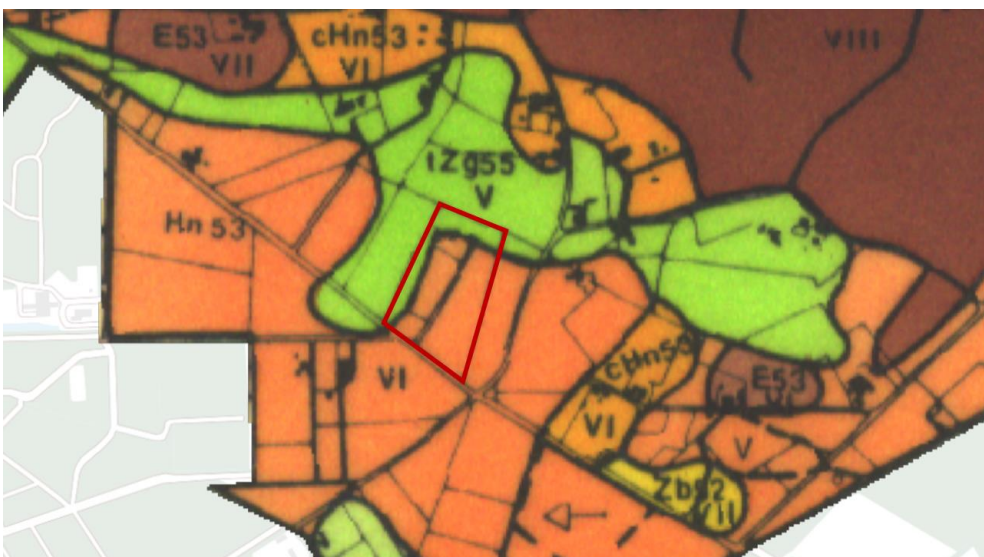
Hn53- VI. Veldpodzolgrond met zwak lemig matig fijn zand. Goed ontwaterd. Dit perceel ligt relatief laag in het landschap, maar behoort wel tot een infiltratiegebied. Zie Figuur 5 voor de weergave van perceel 5 volgens de Bodemkaart van het ruilverkavelingsgebied Hengelo–Zelhem (schaal 1:10.000; Kleinsman et al.,1973).



Figuur 5 Perceel 5 volgens de Bodemkaart van het ruilverkavelingsgebied Hengelo–Zelhem (schaal 1:10.000; Kleinsman et al.,1973).

Perceel 6

Hn53- VI. Veldpodzolgrond met zwak lemig matig fijn zand. Direct onder de bouwvoor bevindt zich een humus inspoelingslaag die (lokaal) verkit is en dit beperkt de infiltratie capaciteit. Landschappelijk ligt dit perceel als een geïsoleerde zandkop tussen lager gelegen gronden. Zie Figuur 6 voor de weergave van perceel 6 volgens de Bodemkaart van het ruilverkavelingsgebied Hengelo–Zelhem (schaal 1:10.000; Kleinsman et al.,1973).



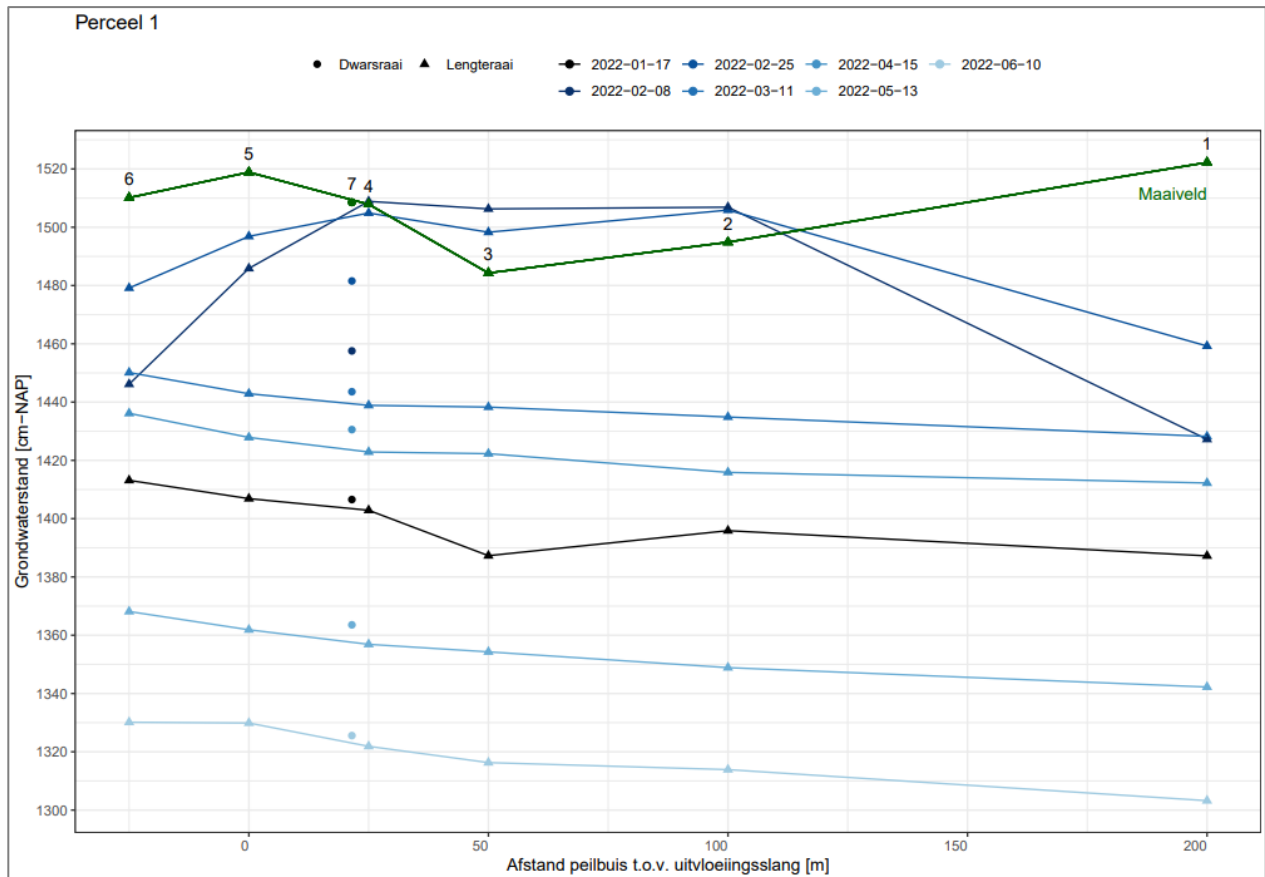
Figuur 6 Perceel 6 volgens de Bodemkaart van het ruilverkavelingsgebied Hengelo–Zelhem (schaal 1:10.000; Kleinsman et al.,1973).

Bijlage 2 Bodemanalyses

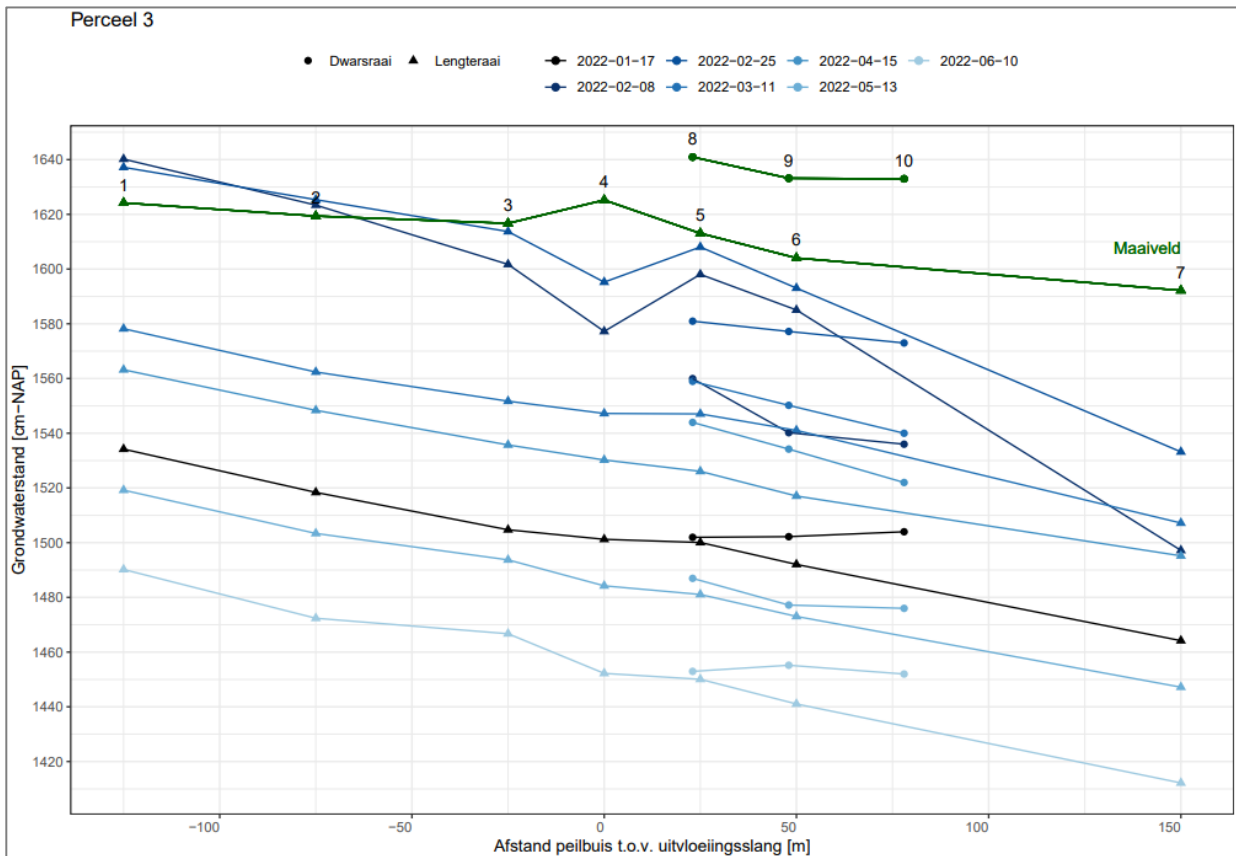
Tabel 1 Bodemanalyses genomen na bevloeiing (01-03-2022) bodemlaag 0-20 cm.

Locaties	Perceel 1		Perceel 2		Perceel 3		Perceel 4		Perceel 5	
	Bevloeiing	Referentie	Bevloeiing	Referentie	Bevloeiing	Referentie	Bevloeiing	Referentie	Bevloeiing	Referentie
N-bodemvoorraad (kg N/ha)	4240	4670	5850	7090	5130	5290	6390	5870	5670	6760
N-leverend vermogen (kg N/ha)	135	145	160	180	140	145	160	155	155	175
P-plantbeschikbaar (Kg P/ha)	5,9	5	7,3	3,2	4,1	3,3	6,3	4,9	6,4	3,4
P-bodemvoorraad (Kg P/ha)	435	425	550	575	560	665	680	480	660	675
K-plantbeschikbaar (Kg K/ha)	80	55	155	145	165	105	200	110	140	145
K-bodemvoorraad (Kg K/ha)	170	155	195	240	280	265	265	200	310	335
Calcium	170	20	40	155	80	20	80	20	40	120
Magnesium	90	180	230	295	240	190	425	350	325	450
Zuurgraad (pH)	5,8	5,4	5,9	5,4	5,5	5,1	5,3	5	5,8	5,6
Organische stof (%)	3,6	4,1	5,5	6,6	5,1	5,4	6,7	6,5	5,1	6,3
Klei (%)	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2
Silt (%)	11	12	12	13	13	17	14	13	14	9
Zand (%)	84	83	81	78	81	75	77	78	79	82
Klei-humus (CEC) mmol/kg	51	48	98	78	61	62	82	66	73	100

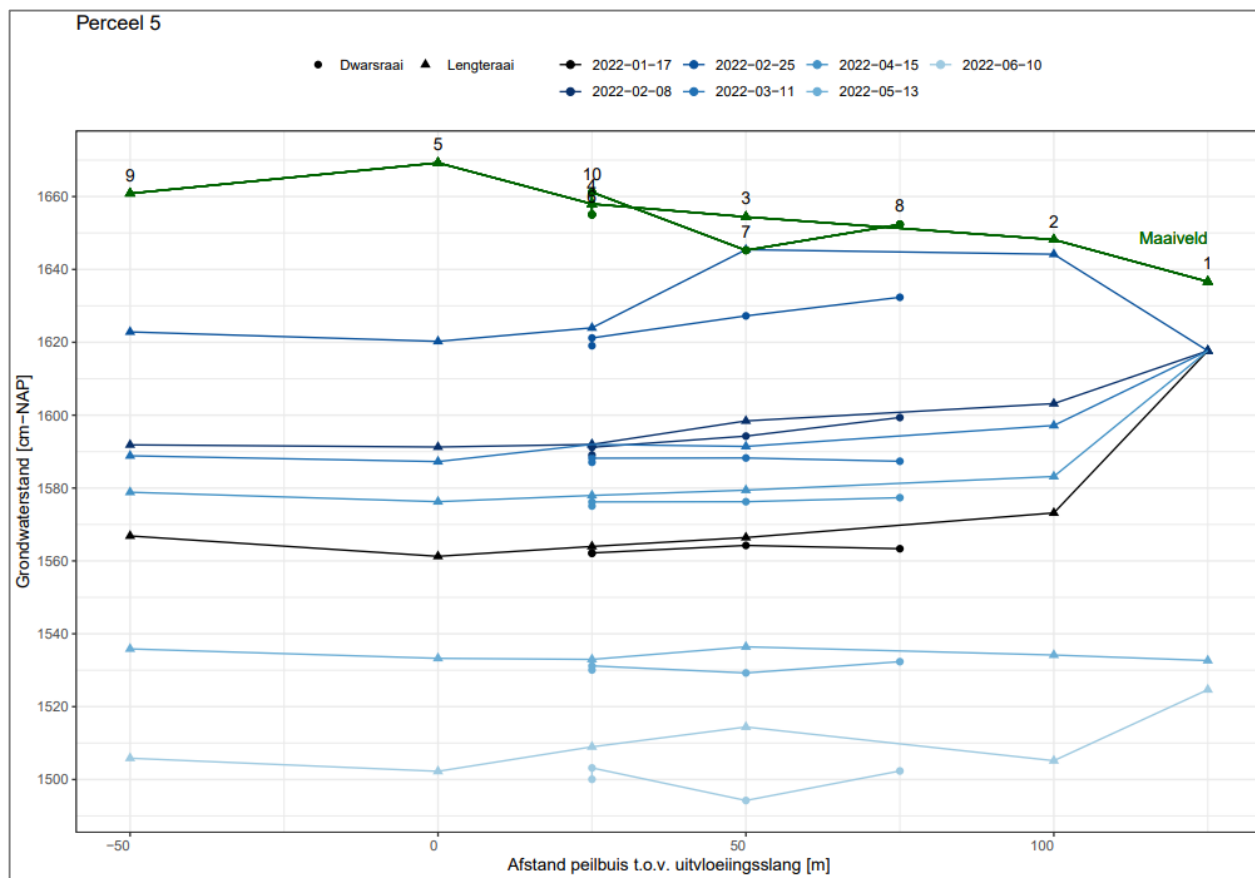
Bijlage 3 Grondwaterstanden per raai



Figuur 7 Grondwaterstanden lengteraai (blauw) en maaiveld (groen) per peilbuis in cm ten opzichte van NAP voor proefperceel 1. Elke afzonderlijke lijn betreft meetdata van een afzonderlijke meetdatum, waarbij donkerste blauwe kleur correspondeert met de eerste meting op 17 januari 2022 en de lichtste blauwe kleur correspondeert met de meest recente meting op 10 juni 2022. De peilbuizen zijn met nummers aangegeven. De lengteraai is aangegeven door een driehoek, de dwarsraai is aangegeven door een rondje.



Figuur 8 Grondwaterstanden lengteraai (blauw) en maaiveld (groen) per peilbuis in cm ten opzichte van NAP voor proefperceel 3. Elke afzonderlijke lijn betreft meetdata van een afzonderlijke meetdatum, waarbij donkerste blauwe kleur correspondeert met de eerste meting op 17 januari 2022 en de lichtste blauwe kleur correspondeert met de meest recente meting op 10 juni 2022. De peilbuizen zijn met nummers aangegeven. De lengteraai is aangegeven door een driehoek, de dwarsraai is aangegeven door een rondje.

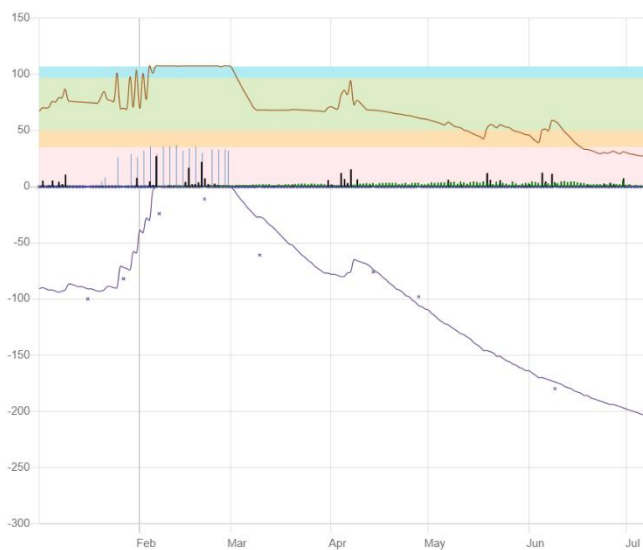


Figuur 9 Grondwaterstanden lengteraai (blauw) en maaiveld (groen) per peilbuis in cm ten opzichte van NAP voor proefperceel 5. Elke afzonderlijke lijn betreft meetdata van een afzonderlijke meetdatum, waarbij donkerste blauwe kleur correspondeert met de eerste meting op 17 januari 2022 en de lichtste blauwe kleur correspondeert met de meest recente meting op 10 juni 2022. De peilbuizen zijn met nummers aangegeven. De lengteraai is aangegeven door een driehoek, de dwarsraai is aangegeven door een rondje.

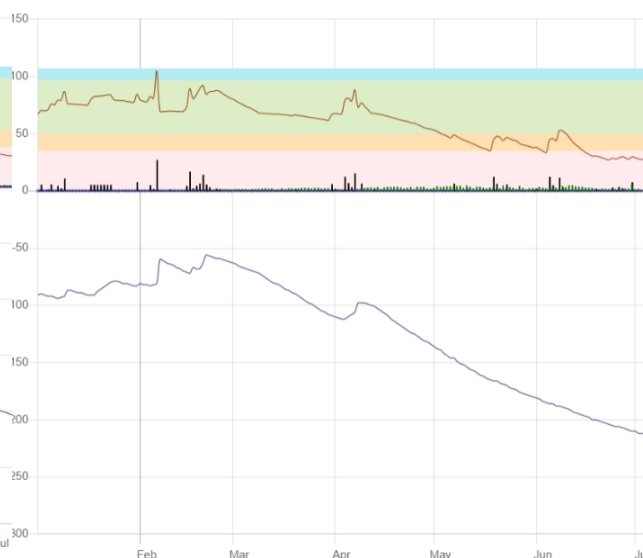
Bijlage 4 Modelberekeningen

Perceel 1

Bevloeiing



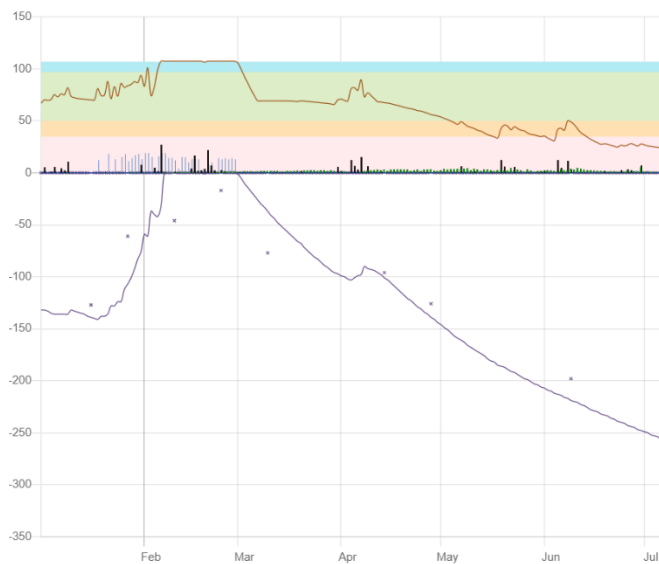
Referentie



Figuur 10 Gemoduleerde en gemeten grondwaterstanden van behandeling bevloeiing en de referentie (paarse lijn onder de x-as) voor perceel 1. De vochttoestand in de bodem is aangegeven met een bruine lijn, waarbij in de blauwe zone sprake is van vernatting, in de groene zone de vochtvoorziening optimaal is, in de oranje zone vocht limiterend wordt en in de licht rode zone sprake is van vochttekort (droogte). De kruisjes in de grafiek van bevloeiing geven de gemeten grondwaterstanden weer.

Perceel 2

Bevloeiing



Referentie

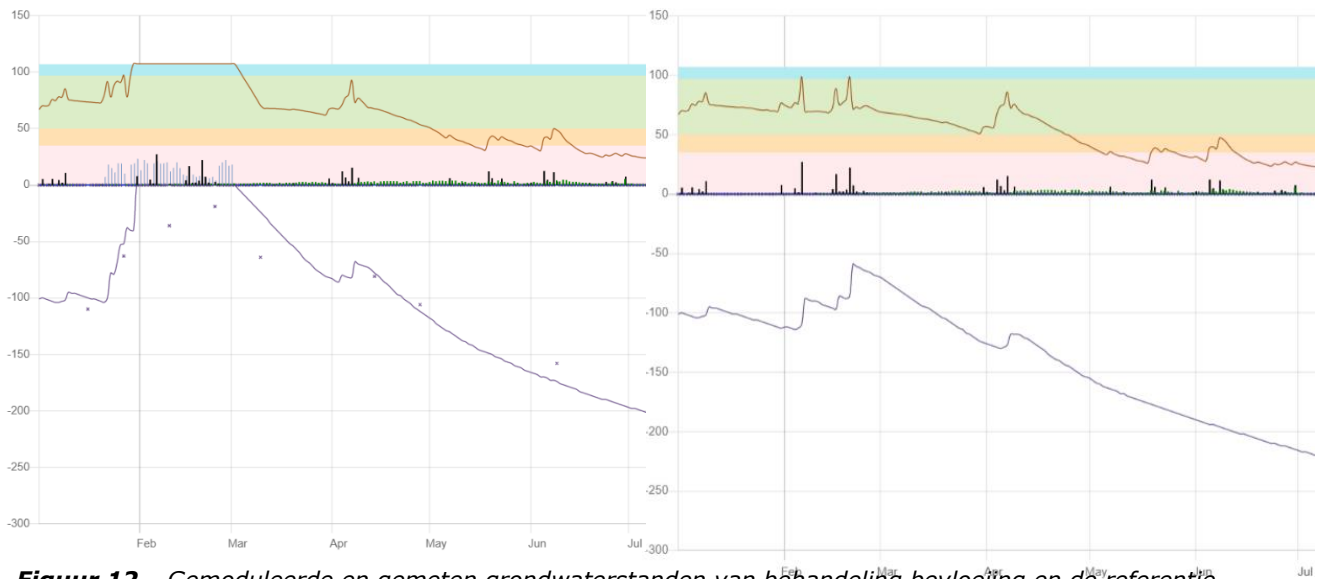


Figuur 11 Gemoduleerde en gemeten grondwaterstanden van behandeling bevloeiing en de referentie (paarse lijn onder de x-as) voor perceel 2. De vochttoestand in de bodem is aangegeven met een bruine lijn, waarbij in de blauwe zone sprake is van vernatting, in de groene zone de vochtvoorziening optimaal is, in de oranje zone vocht limiterend wordt en in de licht rode zone sprake is van vochttekort (droogte). De kruisjes in de grafiek van bevloeiing geven de gemeten grondwaterstanden weer.

Perceel 3

Bevloeiing

Referentie

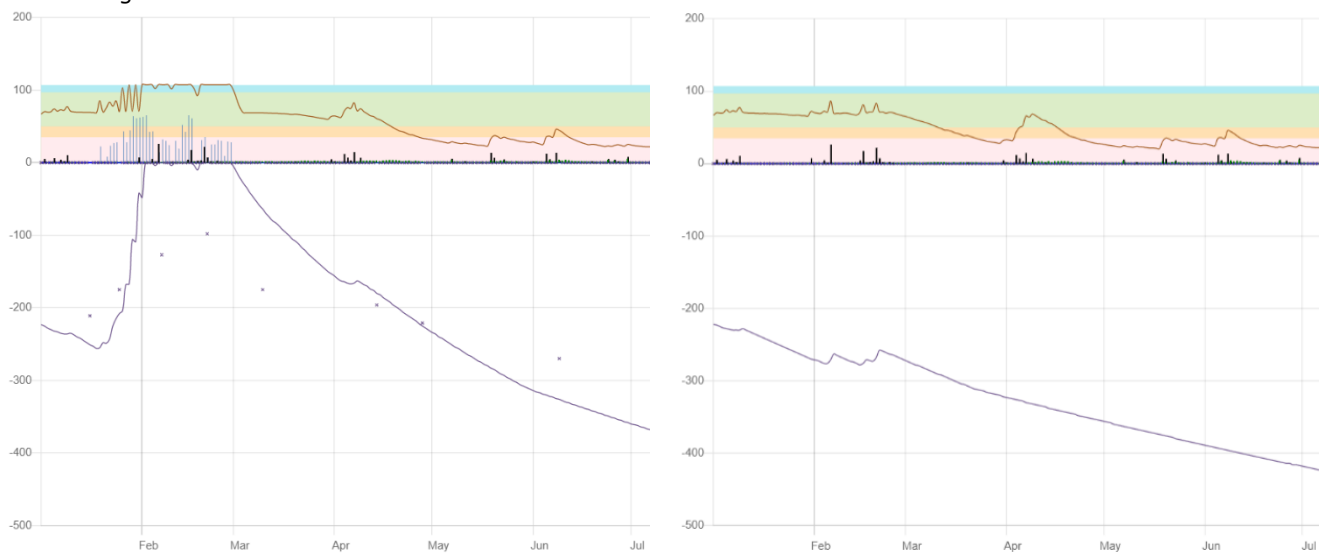


Figuur 12 Gemoduleerde en gemeten grondwaterstanden van behandeling bevloeiing en de referentie (paarse lijn onder de x-as) voor perceel 3. De vochttoestand in de bodem is aangegeven met een bruine lijn, waarbij in de blauwe zone sprake is van vernatting, in de groene zone de vochtvoorziening optimaal is, in de oranje zone vocht limiterend wordt en in de licht rode zone sprake is van vochttekort (droogte). De kruisjes in de grafiek van bevloeiing geven de gemeten grondwaterstanden weer.

Perceel 4

Bevloeiing

Referentie



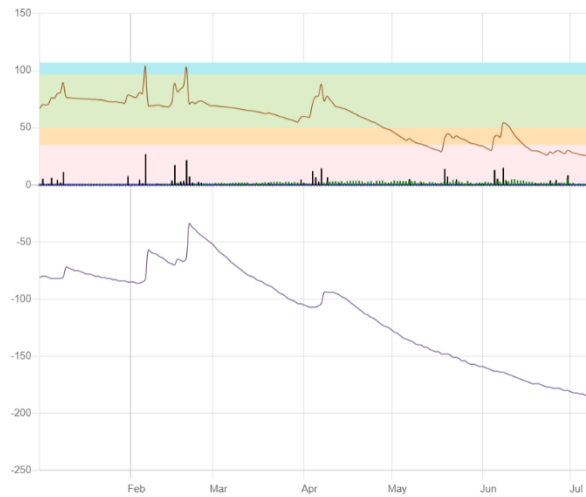
Figuur 13 Gemoduleerde en gemeten grondwaterstanden van behandeling bevloeiing en de referentie (paarse lijn onder de x-as) voor perceel 4. De vochttoestand in de bodem is aangegeven met een bruine lijn, waarbij in de blauwe zone sprake is van vernatting, in de groene zone de vochtvoorziening optimaal is, in de oranje zone vocht limiterend wordt en in de licht rode zone sprake is van vochttekort (droogte). De kruisjes in de grafiek van bevloeiing geven de gemeten grondwaterstanden weer.

Perceel 5

Bevloeiing



Referentie



Figuur 14 Gemoduleerde en gemeten grondwaterstanden van behandeling bevloeiing en de referentie (paarse lijn onder de x-as) voor perceel 5. De vochttoestand in de bodem is aangegeven met een bruine lijn, waarbij in de blauwe zone sprake is van vernatting, in de groene zone de vochtvoorziening optimaal is, in de oranje zone vocht limiterend wordt en in de licht rode zone sprake is van vochttekort (droogte). De kruisjes in de grafiek van bevloeiing geven de gemeten grondwaterstanden weer.

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.

