Haalbaarheidsstudie DIS

Potentiële effecten van druppelinfiltratie op veenafbraak

ACACIA WATER

Haalbaarheidsstudie DIS

Potentiële effecten van druppelinfiltratie op veenafbraak

Samenvatting

In deze studie zijn verkennende modelberekeningen gedaan om de mogelijke effecten van druppelinfiltratie systemen (DIS) op veen in beeld te brengen. Middels hydrologische perceel modellen met het onverzadigde zone model Hydrus2D hebben we in verschillende scenario's verkend welke effecten te verwachten zijn op de vochtigheid en temperatuur van de bodem rond en tussen de druppelslangen bij verschillende fluxen, dieptes en afstand van de druppelslangen in combinatie met bepaalde drooglegging. Op basis van die resultaten is de CO_2 uitstoot berekend met de methode uit SOMERS 2.0 en zijn de effecten op landbouwkundige functies indicatief gekwantificeerd.
De belangrijkste conclusie is dat DIS al bij lage fluxen een duidelijk vernattend effect kan hebben, met een verhoging van grondwaterstand en bodemvocht tot gevolg en over het algemeen een gunstig effect op CO_2 uitstoot. Wel is er snel een risico op zeer natte omstandigheden, waardoor methaanvorming kan toenemen en landbouwkundige functies afnemen. Dit vraagt dan ook een nauwkeurig beheer van het druppelsysteem met het oog op verschillende doelstellingen en functies.
Het is aan te bevelen de effecten en de rol van beheer en aanleg verder te onderzoeken in het veld.

Colofon

Klant
Veenweiden Innovatie Centrum - Rienk Schaafsma en Youri Egas in kader VIPNL project V6800 Druppelinfiltratiesysteem (DIS)

Status
Eindrapport

Datum
28 juli 2025

Projectnummer
projectnummer 251603 (AW25_215_FH)

Auteur(s)
Tessa van Hateren, Frouke Hoogland

Gecontroleerd door
Arjen Roelandse

Vrijgegeven door
Arjen de Vries

Disclaimer
Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs zijn niet verantwoordelijk voor eventuele fouten of consequenties. Aanvullingen of verbeteringen zijn welkom via info@acaciawater.com

ACACIAWATER

Inhoud

1 Inleiding **1**

1.1 Kader en doel van het onderzoek 1

2 Aanpak **4**

2.1 In het kort 4

2.2 Modelberekeningen met Hydrus2D 5

2.3 Hydrologische plausibiliteitstoets 11

2.4 Berekening van de CO_2 uitstoot volgens de methode van SOMERS 2.0 12

2.5 Berekeningen van overige aspecten 15

3 Resultaten **17**

3.1 Hydrus-berekeningen 17

3.2 Berekende CO_2-uitstoot en mogelijke methaanuitstoot 24

3.3 Landbouwkundige effecten 27

4 Discussie **30**

4.1 Gecombineerde effecten verschillende scenario's 30

4.2 Mogelijke andere effecten 32

4.3 Effecten locatie specifieke omstandigheden en modelkeuzes 32

4.4 aanvullende overwegingen bij aanleg 33

4.5 Verschillen met Water Infiltratie Systemen (WIS) 34

5 Conclusies en aanbevelingen **36**

6 Literatuur **39**

7 Bijlagen **40**

1 Inleiding

Binnen het innovatieprogramma VIP-NL worden verschillende veenvernattingsmaatregelen om broeikasgassen te reduceren onderzocht op verschillende haalbaarheidsaspecten. Een relatief nieuwe maatregel is de toepassing van druppelinfiltratie als methode om het veen te vernatten en veenafbraak tegen te gaan (DIS). Er is daarom een nieuw VIP-NL thema gestart gericht op deze maatregel, waarbij ook praktijkproeven zijn beoogd. Alvorens deze praktijkproeven in te richten, is er echter voor gekozen een haalbaarheidsstudie uit te voeren om de verwachte effecten in beeld te brengen op de waterhuishouding, de CO_2-uitstoot en een aantal aanvullende factoren door middel van modelberekeningen.

Druppelinfiltratie ten behoeve van veenvernatting

Druppelslangen worden al veelvuldig toegepast in sectoren als de akkerbouw, fruit- en sierteelt ten behoeve van irrigatie. Over het algemeen worden de slangen oppervlakkig neergelegd, maar er zijn ook steeds meer toepassingen waarbij de slangen wat dieper in de grond worden aangelegd zodat grondbewerkingen mogelijk zijn zonder de slangen te verwijderen. Voor een efficiënt watergebruik ten behoeve van irrigatie moet het water uit de druppelslangen vooral de wortelzone vochtig houden, met zo min mogelijk verlies van water naar het grondwater. Hierbij spelen de druppelflux en de capillaire werking van de bodem een rol. Met een druppelsysteem kan de druppelflux gemakkelijk worden aangepast naar behoefte van het gewas.
De toepassing van druppelslangen ten behoeve van veenvernatting heeft primair een ander doel voor ogen, namelijk het vernatten van het veen om zuurstofindringing te beperken en daarmee veenafbraak tegen te gaan. Het is mogelijk dat dit tegelijkertijd een gunstig effect heeft op de grasgroei in droge periodes.

1.1 Kader en doel van het onderzoek

Doel van het onderzoek is om de haalbaarheid van de maatregel DIS (Druppel Infiltratie Systeem) in beeld te brengen met betrekking tot de waterhuishouding en de potentiële effecten op de CO_2-uitstoot uit een agrarisch veenweideperceel.

In het onderzoek maken we gebruik van een modelaanpak met het onverzadigde/verzadigde zone model Hydrus2D. Het onderzoek is verkennend van aard. Daarom richten we ons op principemodellen om de mogelijke effecten op waterhuishouding en CO_2-uitstoot en mogelijke aanvullende risico's en kansen globaal in beeld te brengen. Het model wordt dan ook niet gekalibreerd op lokale meetreeksen. Wel doen we een plausibiliteitstoets door de uitkomsten van het referentiemodel te vergelijken met SOMERS en de effecten van druppelscenario's met metingen bij Zegveld. De modelparameters worden zoveel mogelijk overgenomen uit vergelijkbare hydrologische perceelmodellen voor veenbodems die in de literatuur te vinden zijn. Door bepaalde parameters te variëren, onderzoeken we de gevoeligheid van de modeluitkomsten op een aantal van deze parameters. De inzichten uit deze studie kunnen gebruikt worden om vervolgens de verdere veldproeven en monitoring in te richten.

Het onderzoek richt zich op de volgende hoofdvragen:

- Wat voor effect hebben verschillende uitvoeringsvarianten (diepte, afstand en druppelflux) van de maatregel op het bodemvocht en de grondwaterstand direct bij de slangen en tussen de slangen in een veenbodem?
- Wat is de potentiële CO_2-uitstoot op basis van de berekende bodemvocht- en temperatuurprofielen bij de verschillende uitvoeringsvarianten en vergeleken met referentieomstandigheden?
- Naast verwachte effecten op de CO_2-uitstoot heeft een verandering in de waterhuishouding mogelijke effecten op landbouwkundige functies (zoals draagkracht en zuurstofstress in de wortelzone). Op basis van de modelresultaten geven we een indicatie van de risico's en kansen op dit gebied. Voor draagkracht en zuurstofstress is dit deels kwantitatief te maken door grenswaardes te koppelen aan de door het model berekende bodemvocht en zuigspanning.

1.1.1 Keuze in uitvoeringsvarianten van DIS

Druppelinfiltratie kan op verschillende manieren worden aangelegd en beheerd. Zo zijn variaties in diepte en afstand tussen druppelslangen mogelijk. Ook kan in het druppelregime worden gevarieerd: zowel in de flux als in de duur van een watergift (bijvoorbeeld 10 minuten per uur). Agrariërs hebben in eerste instantie enthousiast op de maatregel DIS gereageerd. Dit komt doordat druppelinfiltratie de mogelijkheid biedt droogteschade van het gras te voorkomen in droge periodes. Er kan zelfs via de druppelslangen bemesting worden toegepast. Het optimale druppelregime voor grasgroei hoeft echter niet noodzakelijk overeen te komen met het optimale regime om veenafbraak tegen te gaan. Mogelijk is in het laatste geval een grotere vernatting van de bodem gewenst dan wat wenselijk is voor draagkracht en grasgroei. Om de verschillen tussen deze twee belangen inzichtelijk te maken, kiezen we in deze studie verschillende uitvoeringsscenario's die passen bij zowel optimale grasgroei en bij maximale vernatting van het veen onder de wortelzone. Dit wordt gedaan door een range aan druppelfluxen door te rekenen van lage naar hoge flux. Doordat we zowel de effecten op CO_2 uitstoot als op landbouwkundige aspecten doorrekenen, komt hieruit ook naar voren welke uitvoering voor beide functies optimaal zou zijn.

1.1.2 Overige broeikasgassen en waterkwaliteit

Naast CO_2 kunnen ook de broeikasgassen methaan en lachgas uit veengronden vrijkomen. Dit wordt onderzocht binnen het NOBV (Nationaal Onderzoek Broeikasgassen Veenweide). In deze studie richten we ons op CO_2, omdat deze effecten te kwantificeren zijn middels de methode die in het NOBV is ontwikkeld voor SOMERS, een registratiesysteem waarbinnen de effecten van vernatting op CO_2 uitstoot worden doorgerekend (SOMERS 2.0 – technische beschrijving). Voor de andere broeikasgassen zullen we in de discussie een indicatie geven van verwachte effecten. Zo kunnen methaanemissies belangrijk worden bij grondwaterstanden ondieper dan 20 cm-mv, wat mogelijk is bij ondiepe druppelslangen en hoge watergiften. Ook kan lachgas ontstaan door bemesting in combinatie met redelijk natte bodems.
De maatregel heeft mogelijk ook een effect op de waterkwaliteit. In de discussie zullen we mogelijke effecten benoemen. Dit is echter alleen kwalitatief. Effecten op de

waterkwaliteit worden niet doorgerekend met het model en zijn daarnaast zeer complex en van veel factoren afhankelijk.

2 Aanpak

2.1 In het kort

Keuze voor het model

Voor de modellering van verschillende uitvoeringsvarianten van de maatregel, gebruiken we het onverzadigde/verzadigde model Hydrus2D, inclusief warmtetransport. Hiermee kan in beeld worden gebracht wat het verloop van het bodemvocht en de temperatuur is tussen de druppelslangen als functie van de afstand. Een alternatief is het model SWAP. In tegenstelling tot Hydrus2D is SWAP echter een 1D model, dat geen horizontale stroming in de onverzadigde bodem kan doorrekenen. Juist in geval van druppelinfiltratie waarbij water op punten in de onverzadigde zone wordt aangebracht, is er ook een horizontale verplaatsing van vocht tussen de druppelpunten relevant. Daarom is Hydrus2D in dit geval een betere keuze.

Modelopzet

Voor de modellering met Hydrus volgen we zoveel mogelijk de modelopbouw en parametrisatie zoals gebruikt in een studie binnen het NOBV van Boonman Et al. 2022. In deze studie zijn de effecten van WIS modelmatig onderzocht door middel van Hydrus2D voor een veenbodem met een dunne toplaag (20 cm) bestaande uit kleiig veen, gevolgd door veraard veen (tot 60 cm diepte) en onveraard zeggeveen. Om het model te vereenvoudigen ten behoeve van de doorrekenbaarheid, hebben we in deze studie de toplaag achterwege gelaten en het veraarde veen tot aan maaiveld door laten lopen.
In de studie van Boonman is het effect onderzocht van infiltratie via drains (WIS systemen). Om de effecten van DIS te onderzoeken, heeft ons model geen drains, maar in plaats daarvan ondiepe infiltratiepunten waar op bepaalde momenten met een vaste infiltratieflux wordt gedruppeld. In de scenario's variëren we vervolgens met diepte en afstand van de druppelslangen, druppelflux en de drooglegging. Ook wordt de gevoeligheid van de resultaten verkend door te variëren in de verzadigde doorlatendheid van de bodem.

Hydrologische plausibiliteitstoets

De modellering is verkennend van aard en het model is niet gekalibreerd op meetreeksen. Er zijn ook nog weinig veldproeven gedaan met DIS, en dus weinig meetreeksen voorhanden. Wel maken we gebruik van ervaring die is opgedaan op een veld van 0.3 hectare bij Zegveld, waar in 2023 en 2024 is geëxperimenteerd met DIS. Hier zijn ook grondwaterstandsmetingen gedaan.
Daarnaast is de plausibiliteit van de berekende grondwaterstand onder referentieomstandigheden te toetsen aan de resultaten uit SOMERS 2.0. Sinds kort zijn voor de verschillende parametercombinaties in SOMERS namelijk ook de grondwaterstatistieken gepubliceerd (bijvoorbeeld de gemiddeld laagste grondwaterstand, GLG).

Berekening van de CO_2 uitstoot

De resultaten voor bodemvocht en temperatuurprofielen uit de Hydrus modelberekeningen vormen de input om de CO_2 uitstoot uit het profiel te berekenen op

dagbasis. Dit doen we op basis van de methode uit SOMERS 2.0 (technische beschrijving) door middel van het toepassen van de AAP module (Aerobe afbraak potentie).

Analyse overige aspecten

Berijdbaarheid en beweidbaarheid zijn te relateren aan de zuigspanning op respectievelijk 15 en 10 cm diepte (STOWA rapport 'Waterwijzer landbouw'). Zuurstofstress in de wortelzone wordt over het algemeen aangenomen op te treden bij een waterverzadigingspercentage >95%. Aan de hand van deze aangenomen vuistregels is het mogelijk een indicatie te geven wat de mogelijke effecten zijn van de maatregel op deze aspecten.

De bovenstaande aspecten worden hieronder verder toegelicht.

2.2 Modelberekeningen met Hydrus2D

2.2.1 Basismodel en scenario's

In Hydrus zijn eerst een aantal basismodellen opgebouwd van waaruit zoveel mogelijk geautomatiseerd de verschillende modelvarianten zijn gerund. De verschillende modelscenario's bestaan uit de volgende variaties, welke vooraf zijn afgestemd met de BC:

Weerjaren

Elk scenario wordt voor twee verschillende jaren doorgerekend, namelijk een droog (2018) en gemiddeld (2021) jaar. De daggemiddelde weer gegevens komen van het KNMI-station Cabauw. De weersomstandigheden van 1 januari tot en met 31 maart worden voor beide jaren gelijk genomen om eenzelfde uitgangspositie te hebben aan de start van het groeiseizoen. Dit zijn voor beide jaren de weersomstandigheden uit 2018.
Het model kan geen plasvorming simuleren en heeft moeite met doorrekenen bij zeer hoge neerslagfluxen. Daarom hebben we een dagelijkse neerslag van meer dan 10 mm uitgesmeerd over de dagen hierna. Een dergelijke methode is ook gehanteerd in Boonman Et al. 2022.

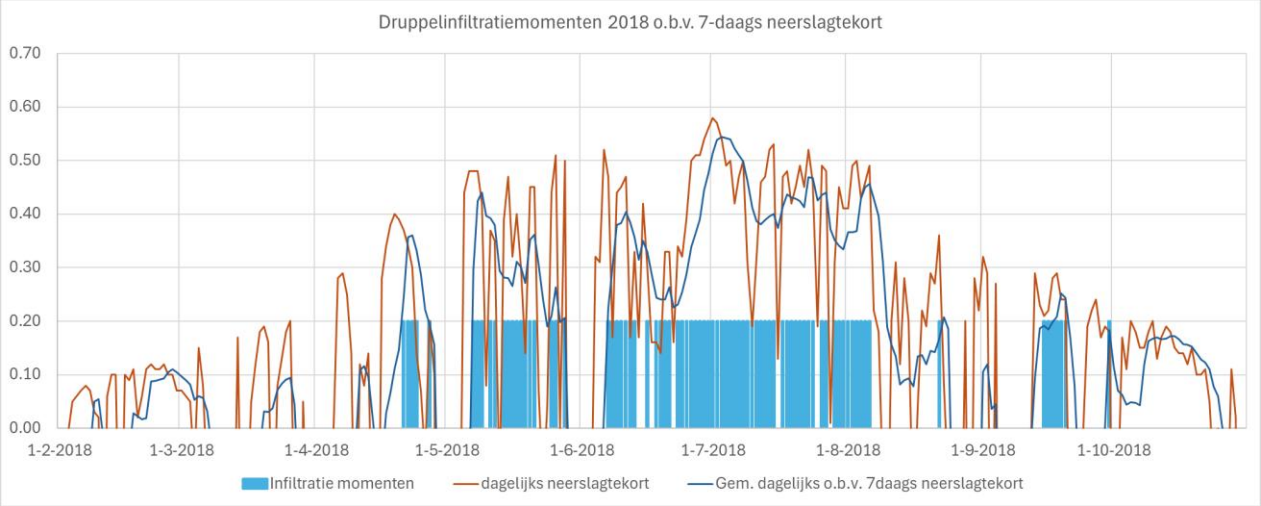
Druppelfluxen en momenten van druppelen

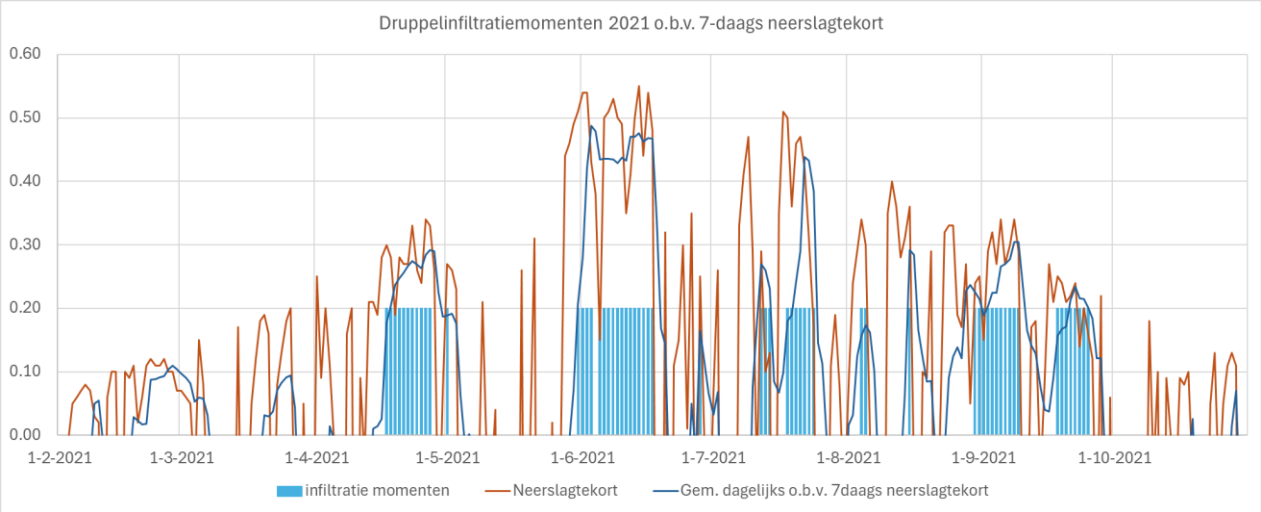
Met betrekking tot de druppelfluxen hebben we de volgende variaties en randvoorwaarden gehanteerd:

- Scenario's met verschillende vaste dagelijkse druppelfluxen van 1 tot en met 5 mm/dag. Deze range is gebaseerd op de ervaring bij Zegveld, waar op dagen dat gedruppeld werd in 2023 en 2024 dit gebeurde met fluxen tussen 1 en 4 mm/dag. Er werd gedruppeld zodra de grondwaterstand dieper dan 35 cm onder maaiveld kwam. Met deze druppelfluxen bleef de grondwaterstand ook redelijk constant rond de diepte van 35 cm-mv. De maximale referentieverdamping voor gras is circa 5 mm/dag.
- In het model gaan we ervanuit dat de druppelflux gedurende 12 uur wordt toegepast (representatief voor een systeem op zonne-energie, zoals bij Zegveld) en binnen de periode maart t/m september. In het model wordt alleen gedruppeld in die gevallen dat er sprake is van een neerslagtekort op weekbasis, dat omgerekend naar dagbasis groter is dan 1.5 mm/dag. Ook wordt er niet

gedruppeld op dagen dat er neerslag valt. Afhankelijk van de afstand tussen druppelslangen wordt de flux die in het model wordt toegepast veranderd om tot de gemiddelde flux van X mm/d van het scenario te komen. Dit betekent dat de flux door een individuele druppelslang met onderlinge afstand van 150 cm groter is dan bij een onderlinge afstand van 50 cm.

In Figuur 1 staat weergegeven op welke momenten er gedruppeld wordt in het model in zowel 2018 als in 2021. Met de gekozen randvoorwaarden wordt in 2018 in totaal 83 dagen gedruppeld en in 2021 62 dagen. Dit betekent bijvoorbeeld dat met een druppelflux van 2 mm/d er in 2018 in totaal 166 mm wordt geïnfiltreerd via de druppelslangen.





Figuur 1: Momenten dat in het model gedruppeld wordt in 2018 en 2021. De oranje lijn geeft het dagelijkse neerslagtekort (in cm/d) en de blauwe lijn het gemiddelde dagelijkse neerslagtekort van het 7-daagse gemiddelde.

Ligging van de druppelslangen

Modelvarianten zijn doorgerekend met druppelslangen op twee verschillende dieptes en twee verschillende afstanden. Hierbij is gekozen voor dieptes van 20 cm en 45 cm, en afstanden van 50 cm en 150 cm. Ter vergelijking met een aantal praktijklocaties: in

Zegveld, was de diepte van druppelslangen 15 cm, maar dit wordt als te ondiep ervaren. Bij een pilot in Polsbroek waren de dieptes 18 en 25 cm en de onderlinge afstand 75 cm. De dieptes zijn hier gekozen om net onder het kleidek te druppelen.

Om voldoende variatie in modelresultaten te krijgen, hebben we hier gekozen voor de maximale diepte van 45 cm.

Gevoeligheid van de resultaten op de bodemdoorlatendheid
De gemodelleerde waterhuishouding is sterk afhankelijk van toegepaste bodemparameters. Met name de verzadigde doorlatendheid Ks van bodemlagen heeft een invloed op de hydrologie en op de verdeling van water in de onverzadigde zone. We verwachten dan ook dat deze parameter de grootste invloed heeft op de werking van de maatregel. Om de gevoeligheid van het model op de Ks-waarde in beeld te brengen, rekenen we scenario's door met twee verschillende waardes die een factor 2 verschillen (zie verder sectie 2.2.3).

Drooglegging
Om de invloed van de drooglegging te verkennen op de effecten van DIS, rekenen we met twee varianten in het slootpeil: 30 cm-mv en 55 cm-mv.

Referentiemodellen
Om de scenario's te kunnen vergelijken met een situatie zonder DIS wordt voor elke combinatie aan drooglegging en verzadigde doorlatendheid een referentiemodel doorgerekend.

Doorrekenbaarheid van de modellen en totaal aantal scenario's
De bovenstaande variaties in de modellen, leiden tot 84 scenario's, namelijk:

- Een referentiemodel met 2 verschillende drooglegginggen en 2 verschillende sets aan Ks-waardes (totaal 84 modellen)
- Maatregelmodellen met vier verschillende liggingen van de druppelslangen, vijf verschillende druppelfluxen, 2 verschillende drooglegginggen en 2 verschillende sets aan Ks-waardes (totaal 80 modellen)

Bij uitvoering van de modellen, bleek dat niet elk scenario doorgerekend kon worden. Dit is met name het geval voor de scenario's waarbij het makkelijk zeer nat wordt (geringe drooglegging in combinatie met een lage doorlatendheid, hoge druppelflux en ondiepe ligging van de slangen). Dit is aangegeven bij de resultaten.

2.2.2 Geometrie van het model

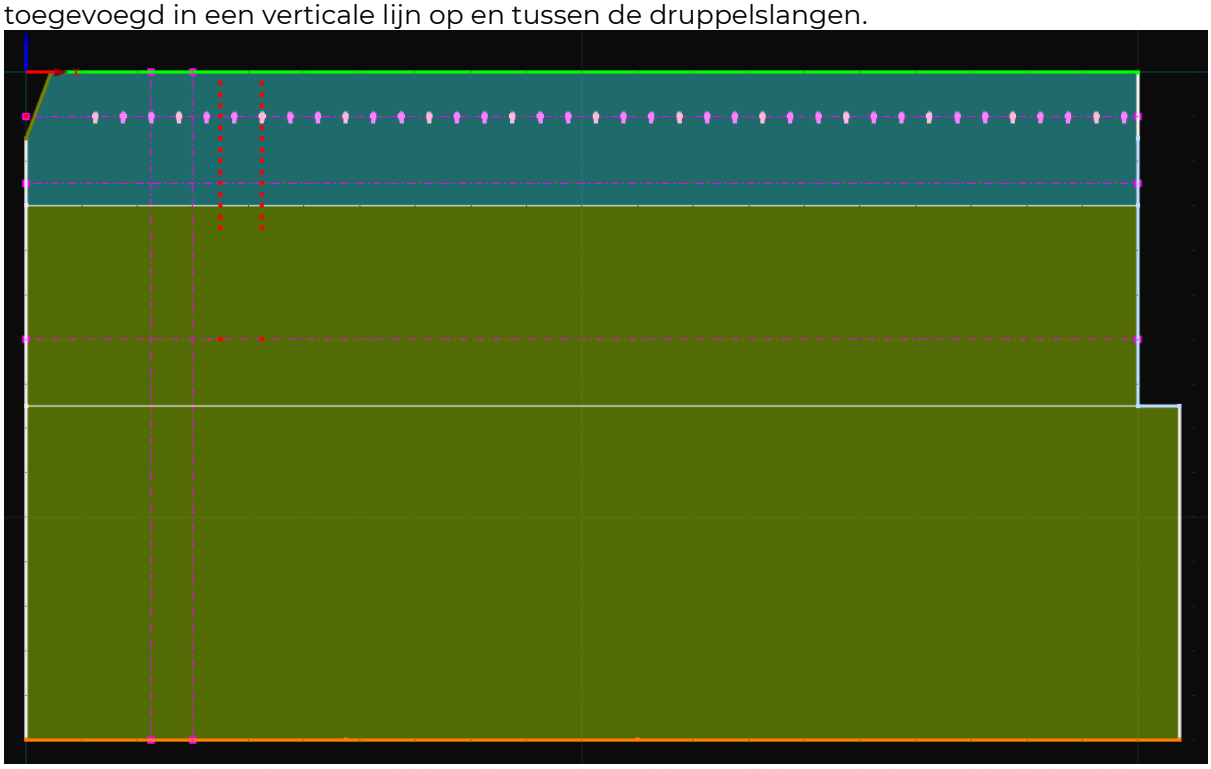
Het model heeft een breedte van 20 m en een dikte van 3 m. We gaan ervanuit dat de waterstromen symmetrisch verlopen aan linker- en rechterzijde van het perceel, waardoor het model representatief is voor een perceel van 40 m breed tot slootrand gerekend.

Aan de rechterzijde van het perceel is een sloot ingebouwd en aan de linkerzijde een afvoerende greppel, op dezelfde manier als in Boonman Et al. 2022. De sloot heeft een

diepte en breedte van 1.5 m+ en de greppel een diepte van 30 cm en breedte van 90 cm. Dit is weergegeven in Figuur 2.

De diameter van de druppelslangen in het model. is 20 mm.

Om de relevante resultaten te exporteren uit het model, zijn observatiepunten toegevoegd in een verticale lijn op en tussen de druppelslangen.



Figuur 2 Geometrie van het 2D- model in Hydrus. De druppelslangen (licht- en donkerroze) bevinden zich op een diepte van 20 cm. De observatiepunten (rood) zijn op en tussen de druppelslangen geplaatst.

2.2.3 Bodem parametrisatie

Voor de bodemparametrisatie gebruiken we een deel van de publicatie van Boonman Et al. 2022, waarin het Hydrus2D model is toegepast voor doorrekening van WIS. Hierbij bestaat de bodem uit drie verschillende bodemtypes, namelijk kleiig veen tot 20 cm diepte, gevolgd door veraard veen tot 60 cm diepte, met vanaf 60 cm Zeggeveen. In ons model loopt de veraarde veenlaag van maaiveld tot een diepte van 60 cm en hebben we de toplaag van kleiig veen weggelaten.

Tabel 1: Bodemparameters zoals toegepast in Boonman Et al. 2022. Voor deze modelstudie gebruiken we de veraarde veenlaag ('decomposed peat') en de onveraarde zegge veenlaag ('Sedge peat').

Table 1. Mualem–van Genuchten parameters and saturated hydraulic conductivity for each soil layer.

Soil type	Depth (m)	θ_r	θ_s	α (1/m)	N	K_s (m d^{-1})	τ
Clayey peat[2]	0–0.2	0	0.765	2.05	1.151	0.1314	0
Decomposed peat[1]	0.2–0.6	0	0.77	1.4	1.16	0.0552	0.5
Sedge peat[1]	>60	0	0.88	2.9	1.21	0.468	0.5

[1] Liu et al. (2016). [2] Heinen et al. (2018).

Parameterisatie voor watertransport

De Van Genuchten parameters zoals te vinden in Tabel 1 uit Boonman Et al. 2022 zijn nodig voor doorrekening van het bodemvocht in de onverzadigde zone en het verzadigde en onverzadigde transport van water in de bodem. Θs staat hierbij voor de porositeit van de bodemlaag, α en N zijn parameters die het watervasthoudende vermogen van de bodemlaag beschrijven en Ks geeft de horizontale verzadigde doorlatendheid.

De Ks-waarde heeft een belangrijke invloed op de grondwaterstandsdynamiek, omdat het bepaalt hoe snel water vanuit het midden van het perceel naar de sloot kan stromen, en andersom. Ook is het bepalend voor de onverzadigde doorlatendheid en heeft daarom een invloed op onverzadigde waterstromen rond de druppelslang. Uit veldproeven is gebleken dat de Ks-waarde voor veengronden sterk varieert, ook binnen een perceel. Gemiddeld is deze vaak in orde van grootte 10-20 cm/dag. Dit geldt voor de horizontale doorlatendheid, de verticale doorlatendheid is vaak een factor lager door de gelaagde opbouw van de bodem.
Op basis van deze afwegingen zijn we afgeweken van de Ks-waarde voor de veraarde veenlaag uit Boonman Et al. 2022, en hebben in plaats daarvan een Ks-waarde van 10 cm/d aangenomen voor deze laag. Ook passen we een anisotropiefactor toe in het model van 2, wat betekent dat de verticale verzadigde doorlatendheid altijd de helft van de horizontale doorlatendheid is. Ten behoeve van het onderzoeken van de gevoeligheid van het model op een verandering in de Ks-waarde rekenen we de scenario's ook door met een gehalveerde Ks-waarde. Voor de veraarde veenlaag wordt deze dan 5 cm/d (horizontale component).

Parameterisatie voor warmtetransport

Om warmtetransport door te rekenen in Hydrus, is per bodemlaag de thermische conductiviteit lambda nodig. Zoals in Boonman Et al. 2022 maken we hiertoe gebruik van het model van Dissanayaka Et al. 2013, wat specifiek is afgeleid voor gronden met veel organisch materiaal:

$$\lambda = 0.225 \cdot \sigma + 0.025 + 0.89 \cdot \lambda_{\text{water}} \cdot \theta$$

Hierbij is sigma het volume percentage vast materiaal (1 minus de porositeit). Theta is het bodemvocht en lambda_water de thermische conductiviteit van water.

In Hydrus wordt een empirische formule toegepast voor de thermische conductiviteit met parameters b1, b2, b3 die aan te passen zijn door de gebruiker. Deze parameters hebben we zo aangepast dat de formule in Hydrus overeenkomt met het model van Dissanayaka Et al. 2013.
Voor de warmtecapaciteit hebben we standaard waardes gebruikt voor water, organisch materiaal en mineraal materiaal.

Voor zowel de Hydrus berekening van warmtetransport, als de SOMERS methodiek om CO_2 emissies te berekenen, is een inschatting nodig van het percentage organisch

materiaal voor elke bodemlaag. Deze waardes zijn niet expliciet terug te vinden in Boonman Et al. 2022. We hebben deze daarom uit de onderliggende bron voor het veraarde veen en onveraarde zeggeveen afgeleid. Deze komen uit een publicatie van Liu Et al. 2016. Uit deze publicatie halen we gemiddelde organische stof gehaltes van 55 en 85% voor het veraarde veen en zegge veen respectievelijk.

2.2.4 Randvoorwaarden en initiële condities

Voor watertransport

In het model maken we gebruik van de volgende randvoorwaarden voor het watertransport:

- Aan de onderrand van het model geldt een randvoorwaarde van geen flux. Dit betekent dat we ervanuit gaan dat er geen sprake is van significante uitwisseling met het zandpakket dat onder het veenpakket ligt, waardoor er vrijwel geen kwel/wegzijgingsflux is. Dit is een valide aanname bij een dik veenpakket met een hoge verticale weerstand.
- Aan de bovenrand van het model gelden meteorologische randvoorwaarden. Dit zijn de daggemiddelde weer gegevens (neerslag en Makkinkverdamping) van het KNMI-station Cabauw. De Makkinkverdamping hebben we in het model voor 10% toegekend aan bodemverdamping en 90% aan gewastranspiratie. De graswortels reiken in het model tot een diepte van 30 cm, waarbij de intensiteit van boven naar beneden lineair afneemt. Er zijn twee jaren doorgerekend, namelijk een droog en gemiddeld jaar. Hiervoor zijn 2018 en 2021 gekozen. Voor beide weer jaren zijn de wintermaanden (januari t/m maart) gelijk genomen om een gelijke uitgangspositie te hebben aan de start van het groeiseizoen. Hiervoor nemen we de wintermaanden van 2018.
- Aan de linkerzijde van het model (midden van het perceel) geldt een randvoorwaarde van geen flux. Hierbij gaan we ervanuit dat de waterstroming symmetrisch is tussen linker en rechterzijde van het model waardoor er geen uitwisseling is over het midden. Voor de greppel geldt een ‘seepage flux’ randvoorwaarde. Dit betekent dat water vrij de greppel in kan stromen als het grondwater boven de bodem van de greppel staat.
- Aan de rechterzijde van het model bevindt zich de sloot met een geometrie zoals in Boonman et al. 2022 (diepte en breedte 1.5 m). Voor de randen van de sloot geldt een randvoorwaarde van een vaste stijghoogte (namelijk het waterpeil in de sloot). Onder de sloot geldt een ‘geen flux’ randvoorwaarde (o.b.v. symmetrie), evenals voor het gedeelte van de slootrand dat boven het waterpeil uitkomt.

Als initiële randvoorwaarde op 1 januari gaan we uit van een hydrostatisch drukprofiel in het model met een initiële grondwaterstand van 30 cm onder maaiveld.

Voor warmtetransport

In het model maken we gebruik van de volgende randvoorwaarden voor het warmtetransport, conform Boonman et al. 2022:

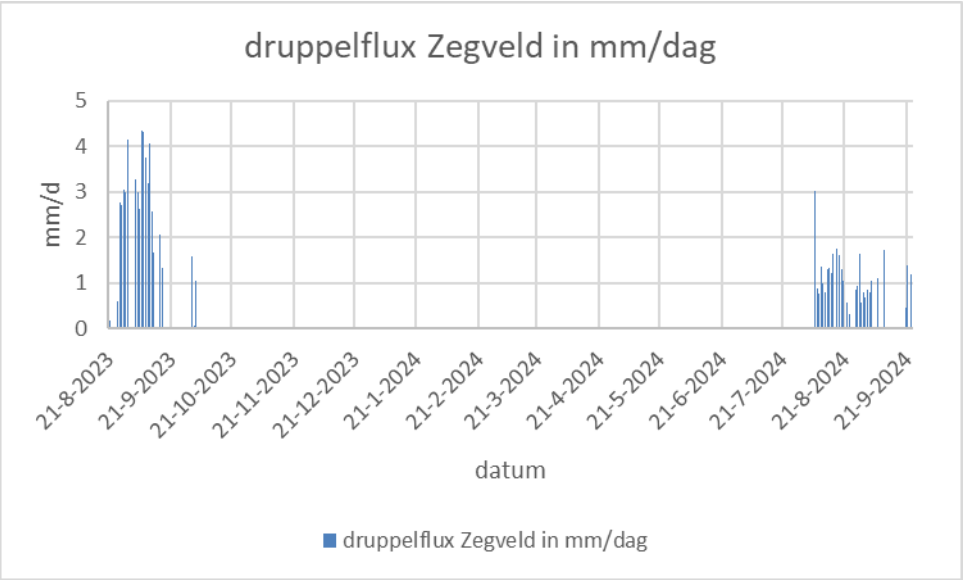
- Een constante temperatuur aan de onderrand van het model op 3 m diepte van 11 °C.
- Een variabele temperatuur aan de bovenrand van het model die overeenkomt met de gemeten bodemtemperatuur op 5 cm diepte bij meteostation Marknesse in Flevoland (er is geen meteostation dichterbij waar structureel de bodemtemperatuur wordt gemeten). Voor beide weerjaren zijn de wintermaanden (januari t/m maart) gelijk genomen om een gelijke uitgangspositie te hebben aan de start van het groeiseizoen. Hiervoor nemen we de wintermaanden van 2018.
- Een variabele watertemperatuur in de sloot zoals gemeten door Rijkswaterstaat in Hagestein. Ook hier is de meetreeks van de wintermaanden van 2018 genomen voor beide weerjaren.
- Een temperatuur bij de druppelslangen gelijk aan de temperatuur van het slootwater. Deze keuze is gemaakt omdat bij het systeem zoals in Zegveld het slootwater als bron wordt gebruikt van het infiltratiewater.

Als initiële randvoorwaarde gaan we uit van een lineair toenemende temperatuur van 6 °C aan het oppervlak tot 11 °C aan de ondergrens van het model. De temperatuur van 6 °C komt overeen met de gemeten bodemtemperatuur in Marknesse op 1 januari 2018.

2.3 Hydrologische plausibiliteitstoets

Ervaringen Zegveld in 2023 en 2024

In 2023 en 2024 is bij Zegveld geëxperimenteerd op 0.3 ha met druppelinfiltratie. In figuur X staan de omgerekende fluxen in mm/d. In de praktijk is hier gestuurd op het grondwaterpeil, wanneer deze zakte tot onder 35 cm-mv werd er gedruppeld met variabele fluxen. De ervaring in het veld was dat de grondwaterstanden snel reageerden en omhoogschoten naar circa 35 cm-mv.



Figuur 3: gedruppelde fluxen bij Zegveld.

Verwachte grondwaterstanden en CO_2 uitstoot o.b.v. SOMERS
De rekenregels van SOMERS geven aan wat de verwachte grondwaterstatistieken zijn en de verwachte CO_2 uitstoot van een perceel met bepaalde combinatie van bodemtype, breedte, kwel/wegzijging, weerregio en drooglegging.
Onder de SOMERS 2.0 parameterklasse 2 valt bijvoorbeeld een bodemtype hVb (zoals te vinden in regio Zegveld), met perceel breedte 30-50m, een kwelsituatie van -0.3-0.3 mm/d en de Weerregio Zuidwest. Dit is vergelijkbaar met de situatie in onze modelberekening. Tabel 2 geeft de beste schatting van de GxG en de CO_2 uitstoot voor deze parametercombinatie per drooggleggingsklasse van 30, 50 en 60 cm-mv. We verwachten dat onze modelberekeningen voor het referentiemodel hierbij in de buurt komen en zullen ze daaraan toetsen.

Tabel 2 Grondwaterstatistieken en schatting van de CO_2 uitstoot zonder vernattingsmaatregel bij verschillende drooggleggingen op basis van de rekenregels van SOMERS 2.0 voor de parameterklasse 2 (zie tekst). (HG= hoogste grondwaterstand, LG = laagste grondwaterstand).

drooglegging	Gemiddelde GWS groeiseizoen	HG3	LG3	Beste schatting CO_2 uitstoot (ton/ha/jr)
30 cm-mv	-0.35	-0.03	-0.52	7.2
50 cm-mv	-0.53	-0.1	-0.7	12.1
60 cm-mv	-0.62	-0.18	-0.79	14.9

2.4 Berekening van de CO_2 uitstoot volgens de methode van SOMERS 2.0

De methode waarop in SOMERS 2.0 de uitstoot vanuit de veenbodem wordt berekend, is omschreven in de Rapportage SOMERS 2.0 – technische beschrijving. Als input zijn voor deze berekeningen de verticale temperatuur en bodemvochtprofielen op dagbasis nodig. Deze waardes halen we uit de scenarioberekeningen met Hydrus. De vervolgstappen om de CO_2-uitstoot uit veenafbraak te berekenen, hebben we in R geprogrammeerd, conform de SOMERS methodiek, welke hieronder kort staat toegelicht. Voor verdere details verwijzen we naar de Technische beschrijving van SOMERS 2.0.

2.4.1 CO_2-uitstoot door veenafbraak uit de bodemkolom

Om de CO_2-uitstoot te berekenen voor de gehele veenbodem, wordt deze eerst per bodemdiepte bepaald. Deze is een functie van de Aerobe Afbraak Potentie (AAP), de massa lang cyclische koolstof, mlck, en de basisrespiratie, BR, die is bepaald met laboratoriummetingen:

$$CO_2(n,z,t) = AAP(n,t,z) * m_{lck}(z) * BR(z) \qquad 2.12$$

In SOMERS 2.0 wordt onderscheid gemaakt tussen kort cyclische en lang cyclische koolstof. De CO_2-uitstoot uit veenoxidatie heeft zijn bron in de lang cyclische koolstof. Door alleen deze koolstof mee te nemen in de berekening, wordt de CO_2-uitstoot die

ontstaat door specifiek veenafbraak berekend (en niet die met een oorsprong in recent gevormd organisch materiaal).
In SOMERS 2.0 is een onderscheid gemaakt in verschillende bodemzones als het gaat om de basisrespiratie (g CO_2 per kg C en per dag). In de wortelzone en de oxidatiezone (bodemlaag die meestal zuurstofrijk is) is met name recalcitrant koolstof aanwezig, omdat labiel koolstof al eerder is geoxideerd. De Basisrespiratie BR is in dit geval 0.40*10^-3 kg CO_2 per kg C per dag. Voor de diepere bodemzone, waar afwisselend zuurstofrijke en zuurstofarme condities aanwezig zijn, is de BR hoger (vanwege de aanwezigheid van labiel koolstof), namelijk 0.60*10^-3 kg CO_2 per kg C per dag.
De AAP is een functie van het bodemvocht, de temperatuur en de zuurstofbeschikbaarheid op een bepaalde diepte.

Voor het model bepalen we voor elke bodemlaag die hoort bij een rekennode in het verticale bodemprofiel de CO_2-uitstoot met bovenstaande formule. De totale uitstoot uit de bodemkolom is vervolgens de sommatie over deze lagen. Omdat de AAP per definitie nul is vanaf een diepte groter dan 70 cm-mv ,hoeven alleen bodemlagen in de berekening meegenomen te worden tot een diepte van 70 cm-mv.

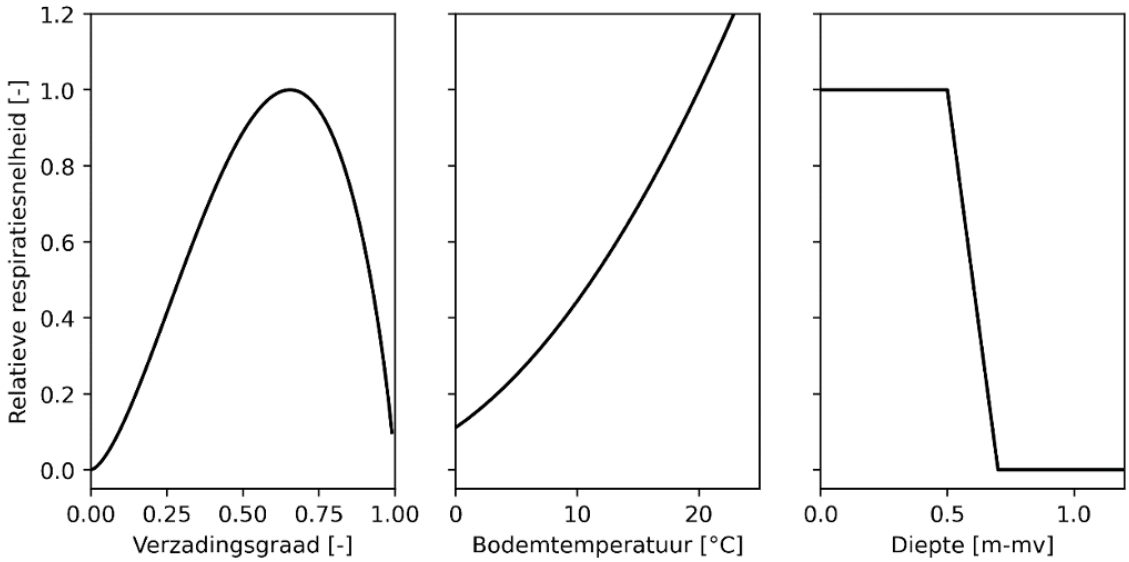
2.4.2 De AAP-formule

Voor elke diepte in het model, is de AAP te berekenen (Aerobe Afbraak Potentie):

$$AAP(n,z,t) = RR_{bodemvocht}(n,z,t) * RR_{temperatuur}(z,t) * RR_{zuurstof}(z) \qquad 2.6$$

Deze geeft aan of de afbraakpotentie gelijk is aan de basisrespiratie (AAP=1), ofwel hoger (AAP>1) ofwel lager (AAP<1) is dan de basisrespiratie. De AAP wordt onafhankelijk beïnvloedt door bodemvocht, temperatuur en zuurstof. Het effect van deze parameters is weergegeven in Figuur 4 en de betreffende relaties zijn terug te vinden in de technische beschrijving van SOMERS 2.0. De AAP bedraagt 1 bij een bodemtemperatuur van 20°C, een waterverzadigingsgraad van 0.65 en geen zuurstofbeperking.

In SOMERS 1.0 was de AAP alleen een functie van waterverzadigingspercentage en temperatuur. In SOMERS 2.0 is daar een relatie met zuurstofbeschikbaarheid aan toegevoegd omdat uit redoxmetingen in het veld bleek dat oxische omstandigheden vrijwel niet voorkomen op dieptes >70 cm-mv, ook al zakt de grondwaterstand verder uit. Ten aanzien van zuurstofbeschikbaarheid wordt er dan ook vanuit gegaan dat deze lineair afloopt tussen 50 en 70 cm-mv. Daarnaast zit zuurstofbeschikbaarheid impliciet in de relatie met het waterverzadigingspercentage: als de bodem natter is dan het optimum (0.65) wordt de afbraak gelimiteerd door de beperkte beschikbaarheid van zuurstof.



Figuur 4 Het effect van bodemvocht, bodemtemperatuur en zuurstofbeperking op de relatieve respiratiesnelheid, uit de technische beschrijving van SOMERS 2.0

2.4.3 Bepaling massa langcyclische koolstof

De massa lang cyclische koolstof op een bepaalde diepte (mlck) is een functie van de organische stofdichtheid (rho_org), het volume van desbetreffende bodemlaag (Vvoxel), de massafractie koolstof in organisch materiaal (fc) en de massafractie lang-cyclisch koolstof in de bodemkoolstof (flcc):

$$m_{lck}(z) = \rho_{org}(z) * V_{voxel}(z) * f_c * f_{lcc}(z) \qquad 2.9$$

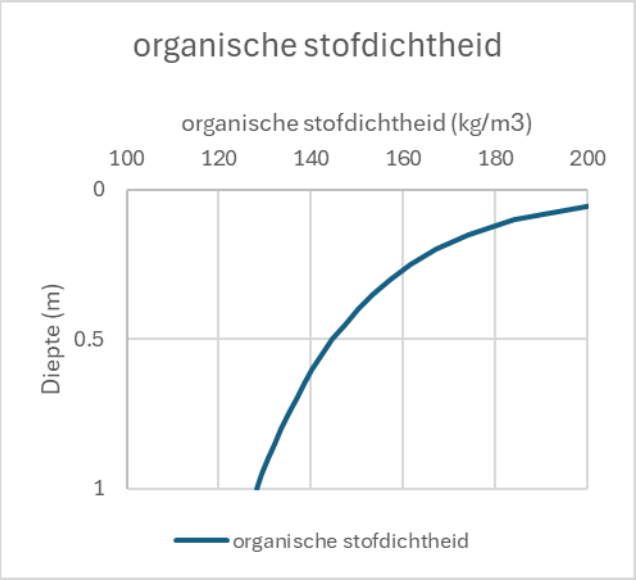
In ons model nemen we voor Vvoxel de verticale afstand tussen twee rekennodes vermenigvuldigd met een hectare. Elke rekennode is daarmee representatief voor de CO_2-uitstoot uit een verticaal segment van het bodemprofiel. De sommatie van deze verticale segmenten geeft vervolgens de totale CO_2-uitstoot door veenafbraak per ha.

De massafractie koolstof in organisch materiaal wordt standaard geschat op 0.5 (-). De organische stofdichtheid is een functie van de diepte en de massafractie organische stof van het bodemmateriaal. Voor het laatste, gebruiken we de organische stofgehaltes zoals eerder benoemd in sectie 2.2.3 voor elk van de bodemlagen. De desbetreffende vergelijkingen zijn te vinden in de technische beschrijving van SOMERS 2.0 (vergelijking 2.10 en 2.11) en resulteren in het verticale profiel voor organische stofdichtheid zoals getoond in Figuur 5 hieronder.

De fractie lang-cyclische koolstof in de totale bodemkoolstof verschilt in SOMERS 2.0 per bodemzone (wortelzone, oxidatiezone en oxidatie-reductiezone), net zoals de basisrespiratie per bodemzone is gedefinieerd. De definitie van de oxidatiezone o.b.v. SOMERS 2.0 is de zone die jaarrond onverzadigd is, dus boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand ligt, maar onder de wortelzone. Voor het gemodelleerde veenperceel in deze studie verwachten we niet dat de GHG dieper ligt dan de wortelzone, welke tot 30 cm-mv doorloopt. Daarom gaat in onze berekeningen de wortelzone direct over in de oxidatie-reductiezone. In Tabel 3 staat een samenvatting van de waardes toegepast per zone.

Tabel 3: verschillende bodemzones en hun fractie langcyclische koolstof en basisrespiratie.

Bodemzone	Diepte	flcc (-)	BR (kg CO2/kgC/d)
Wortelzone	0-30 cm-mv	0.75	0.40*10-3
Oxidatiezone	Afwezig voor deze studie	0.875	0.40*10-3
Oxidatie-reductiezone	> 30 cm-mv	0.98	0.60*10-3



Figuur 5: berekende verticale profiel van de organische stofdichtheid in het model.

2.5 Berekeningen van overige aspecten

Maaien en weiden

In de WaterWijzer Landbouw worden criteria benoemd voor de vochtspanning van de bodem bij maaien en bij beweiden. Het criterium in geval van maaien geldt voor een diepte van 15 cm en voor beweiden voor een diepte van 10 cm (STOWA rapport 2018-48). Wanneer de vochtspanning minder negatief is, heeft de bodem te weinig draagkracht en is hij te nat om zonder schade te maaien of te beweiden. De onderstaande tabel geeft de grenswaarden per Staring bouwsteen. In geval van veen (B16) zijn deze grenswaardes -40 en -70 cm voor maaien en weiden respectievelijk.

De zuigspanning op verschillende dieptes, is een output van het Hydrusmodel (net zoals het bodemvocht). Voor elk scenario kunnen we dan ook afleiden hoeveel dagen tijdens het groeiseizoen (tussen 1 maart en 1 oktober) de bodem geschikt is voor maaien en beweiden.

Zuurstofstress in de wortelzone

Zuurstofstress in de wortelzone wordt over het algemeen aangenomen, op te treden bij een waterverzadigingspercentage >95%. Het waterverzadigingspercentage is af te leiden uit het berekende bodemvocht, namelijk via omrekening met de porositeit van de bodemlaag. Ter indicatie van zuurstofstress kijken we naar het aantal dagen dat het

waterverzadigingspercentage op 15 cm diepte (halverwege de wortelzone) boven de 95% uit komt.

Tabel 4: grenswaardes voor de vochtspanning die worden toegepast in de Waterwijzer Landbouw voor maaien en beweiden op 15 cm en 10 cm respectievelijk

TABEL 4.5 **VOCHTSPANNINGSCRITERIUM BIJ HET OOGSTEN VAN EEN GRASSNEDE (VAN BAKEL & HOVING, 2017)**

Staring bouwsteen	Omschrijving	Categorie	
		Maaien	Beweiden
B01	Leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	-30	-40
B02	Zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	-40	-50
B03	Sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	-40	-50
B04	Zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	-40	-60
B05	Grof zand	-20	-30
B06	Keileem	-50	-70
B07	Zeer lichte zavel	-60	-80
B08	Matig lichte zavel	-60	-80
B09	Zware zavel	-60	-80
B10	Lichte klei	-60	-80
B11	Matig zware klei	-60	-80
B12	Zeer zware klei	-70	-90
B13	Zandige leem	-50	-70
B14	Siltige leem	-60	-80
B15	Venig zand	-60	-80
B16	Zandig veen en veen	-40	-70
B17	Venige klei	-50	-70
B18	Kleiig veen	-50	-70
O05	Grof zand	-20	-30
O09	Matig lichte zavel	-60	-80

3 Resultaten

3.1 Hydrus-berekeningen

3.1.1 Doorgerekende scenario's

De modellen zijn zoals besproken in het voorgaande hoofdstuk doorgerekend. In sommige gevallen steeg de grondwaterstand in het model ineens flink. Dit was bijvoorbeeld zo bij een combinatie van lage doorlatendheden en kleine drooglegging en. Wanneer er vervolgens gestart werd met druppelen in een relatief natte periode, convergeerde het model niet meer. Hierdoor zijn niet alle modellen volledig doorgerekend. Het moment waarop het model niet meer convergeert, is te zien in de figuren van tijdreeksen in de volgende secties. Bij het berekenen van de jaarlijkse CO_2 uitstoot en de statistieken (bijv. hoeveelheid dagen waarop geweid kan worden), zijn alleen modelscenario's meegenomen waar de hele betreffende periode is doorgerekend.

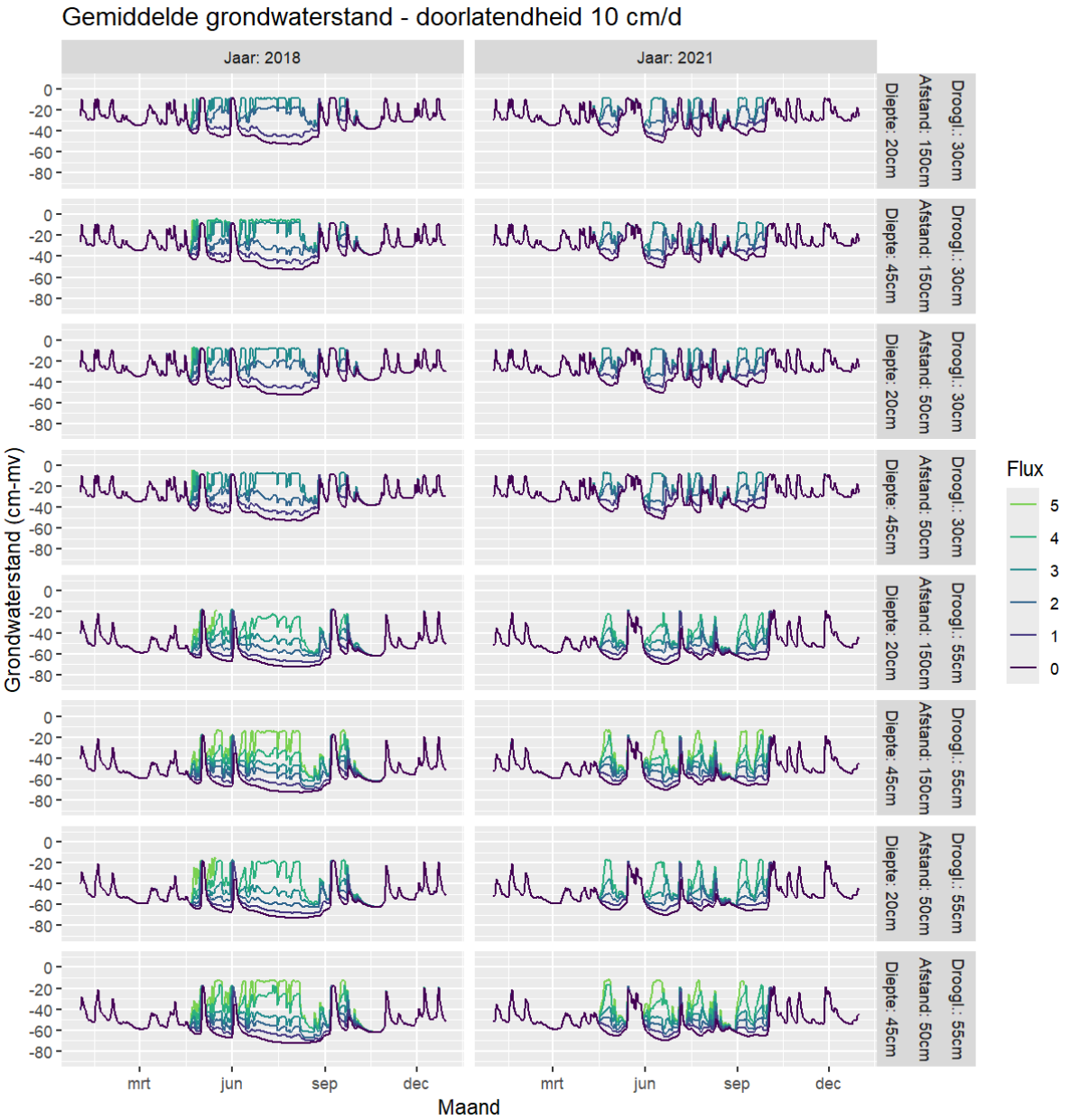
3.1.2 Grondwaterstanden

De grondwaterstanden zijn geanalyseerd als gemiddelde over de gehele modelbreedte, en op twee specifieke locaties in het model. Dit gaat om een locatie ter hoogte van druppelslangen en midden tussen de druppelslangen. De gemiddelde grondwaterstanden zijn gegeven in Figuur 6 (voor een doorlatendheid van het veraarde veen van 10 cm/d) en in de bijlage (Figuur 18, 5 cm/d). In Figuur 6 is het effect van druppelirrigatie in het veen duidelijk te zien. Bij een druppelflux van 1 mm/d wordt de gemiddelde grondwaterstand in alle scenario's al enigszins verhoogd. Dit effect wordt sterker wanneer de druppelflux verhoogd wordt. In 2018 wordt er door de lange droge periode zeer regelmatig gedruppeld, waardoor grondwaterstanden gedurende een lange periode kunstmatig hooggehouden worden. Wanneer het in de tweede helft van augustus weer gaat regenen, is duidelijk te zien dat er minder gedruppeld wordt, en de grondwaterstanden bij de verschillende scenario's weer meer op elkaar lijken. In 2021 zijn er kortere aaneengesloten periodes waar er wordt gedruppeld. Vooral in die periodes is het effect van de druppelirrigatie goed zichtbaar.

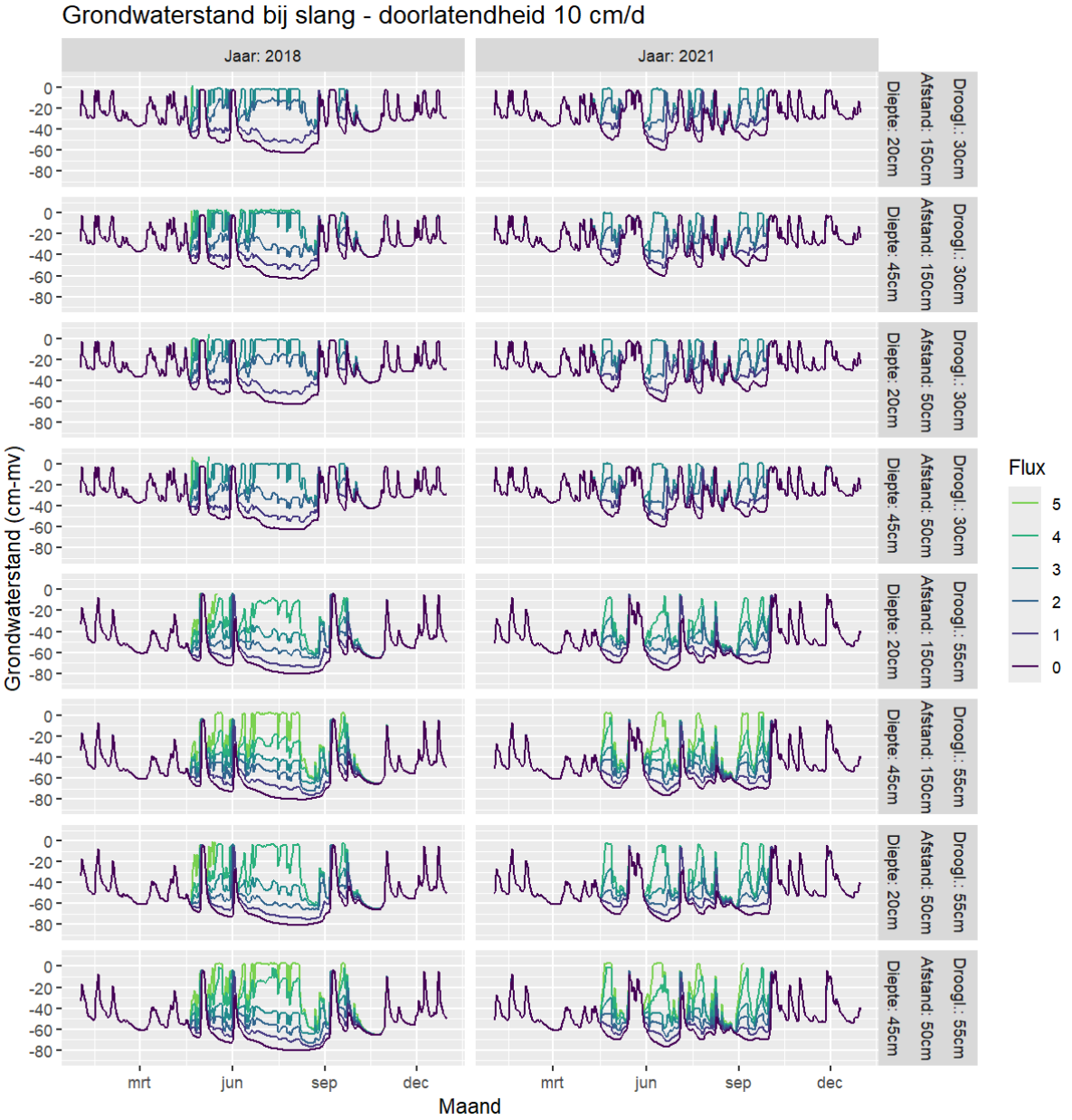
Bij een lagere doorlatendheid van het veen (bijlage, Figuur 18) wordt duidelijk dat problemen optreden bij de doorrekening van het model. Het water kan onder deze omstandigheden niet gemakkelijk wegstromen. Zeker bij een kleine drooglegging in combinatie met hoge druppelfluxen wordt het model te nat om door te rekenen. Hogere fluxen dan 2 mm/d worden in slechts enkele scenario's volledig doorgerekend. De grondwaterstanden bij de lagere doorlatendheid zijn lager dan bij de hogere doorlatendheid, maar worden bij gelijke toepassing van DIS in vergelijkbare mate verhoogd.

Uit de figuren is te zien dat de grondwaterstanden bij de kleine drooglegging van 30 cm in de periode dat er gedruppeld wordt dicht aan maaiveld, staan bij een flux van 2-3 mm/d en een druppeldiepte van 20 cm-mv. Bij een grotere druppeldiepte van 45 cm-mv gebeurt dit bij fluxen groter dan 3 mm/d. In geval van de grotere drooglegging van 55 cm komen de grondwaterstanden aan maaiveld bij druppelfluxen van 4 mm/d in geval van een druppeldiepte van 20 cm, en bij 5 mm/d in geval van een druppeldiepte van 45 cm. Er

is weinig verschil bij (Figuur 7) en tussen de slangen ((bijlage: Figuur 19) en de druppelafstand heeft weinig invloed op deze resultaten. Het druppelen beïnvloedt dus in meer algemene zin het grondwaterpeil, niet per se op de locatie van het druppelen zelf. Dit geldt ook voor scenario's met een lagere doorlatendheid (bijlage: Figuur 20, Figuur 21).



Figuur 6 Tijdreeksen van gemiddelde grondwaterstanden over de gehele modelbreedte bij een doorlatendheid van het veraarde veen van 10 cm/d. De figuur voor 5 cm/d staat in de bijlage (Figuur 18).

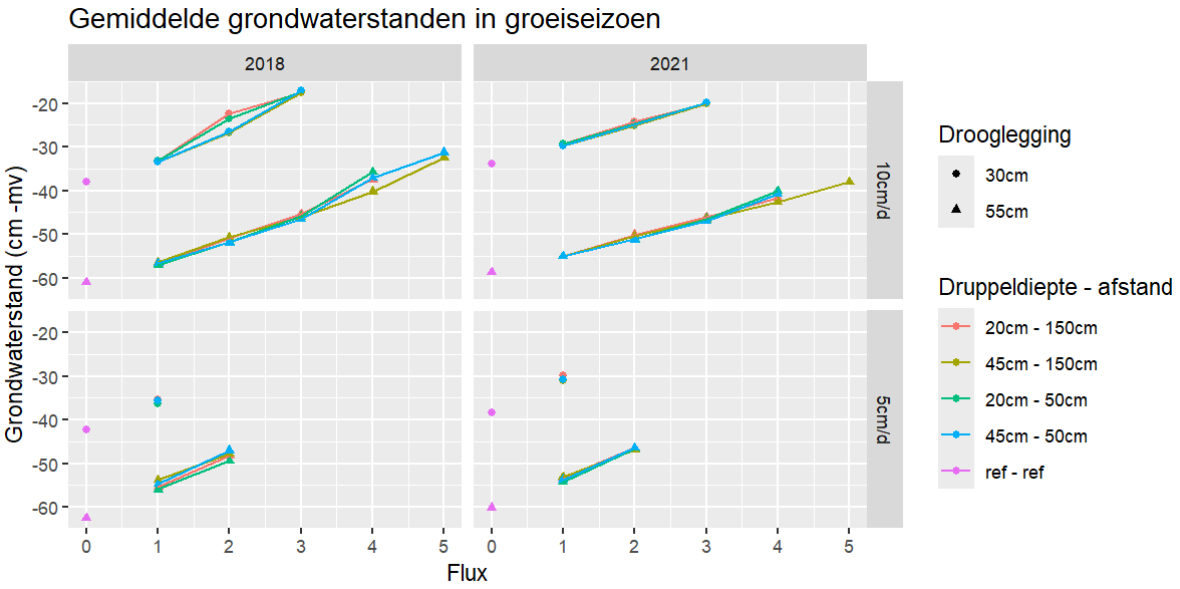


Figuur 7 Tijdreeksen van de grondwaterstand ter hoogte van de slang bij een doorlatendheid van het veraarde veen van 10 cm/d. Het figuur voor 5 cm/d en de tijdreeksen tussen de slangen staan in de bijlage.

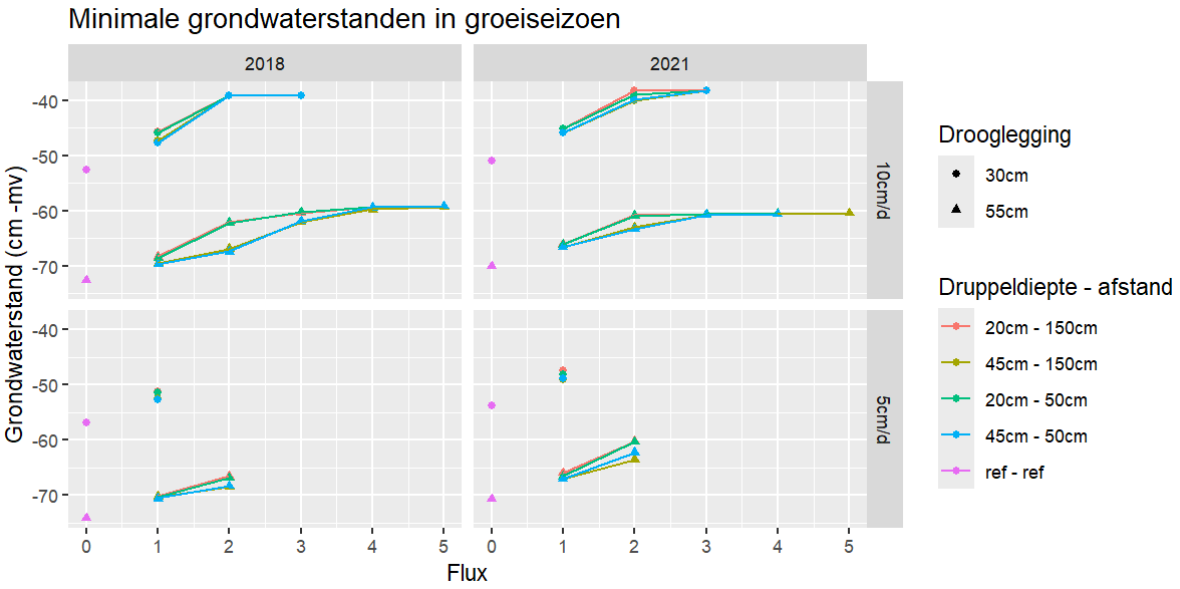
Een vergelijking van de grondwaterstanden in de verschillende scenario's (Figuur 8, Figuur 9) laat zien dat verschillen tussen de scenario's voornamelijk afhankelijk zijn van de drooglegging en de druppelflux. De druppeldiepte, druppelafstand en de doorlatendheid van het veraarde veen hebben een veel kleinere invloed op de modelresultaten. De gemiddelde grondwaterstand in het groeiseizoen ligt per verhoging van de druppelflux met 1 mm/d zo'n 5 cm hoger.

De laagste grondwaterstand in het groeiseizoen neemt toe bij een toenemende druppelflux tot de druppelflux groter is dan 2 à 3 mm/d (Figuur 9). De afvlakking bij hogere fluxen heeft te maken met de periode eind augustus 2018 en 2021, toen er niet gedruppeld werd op basis van de voorwaarden als besproken in paragraaf 2.2.1. De

neerslag die toen viel bleek niet voldoende om het grondwater aan te vullen, waardoor er een dalende grondwaterstand zichtbaar is. Omdat er niet gedruppeld werd was de grondwaterstand in deze periode voor de meeste scenario's gelijk. Bij lage druppelfluxen zakte de grondwaterstand wel iets verder uit, omdat het uitgangspunt voor deze periode eind augustus al droger was.



Figuur 8 Vergelijking tussen de gemiddelde grondwaterstanden over de gehele modelbreedte gedurende het groeiseizoen. De zichtbare punten geven modelscenario's weer die het gehele groeiseizoen zijn doorgerekend.

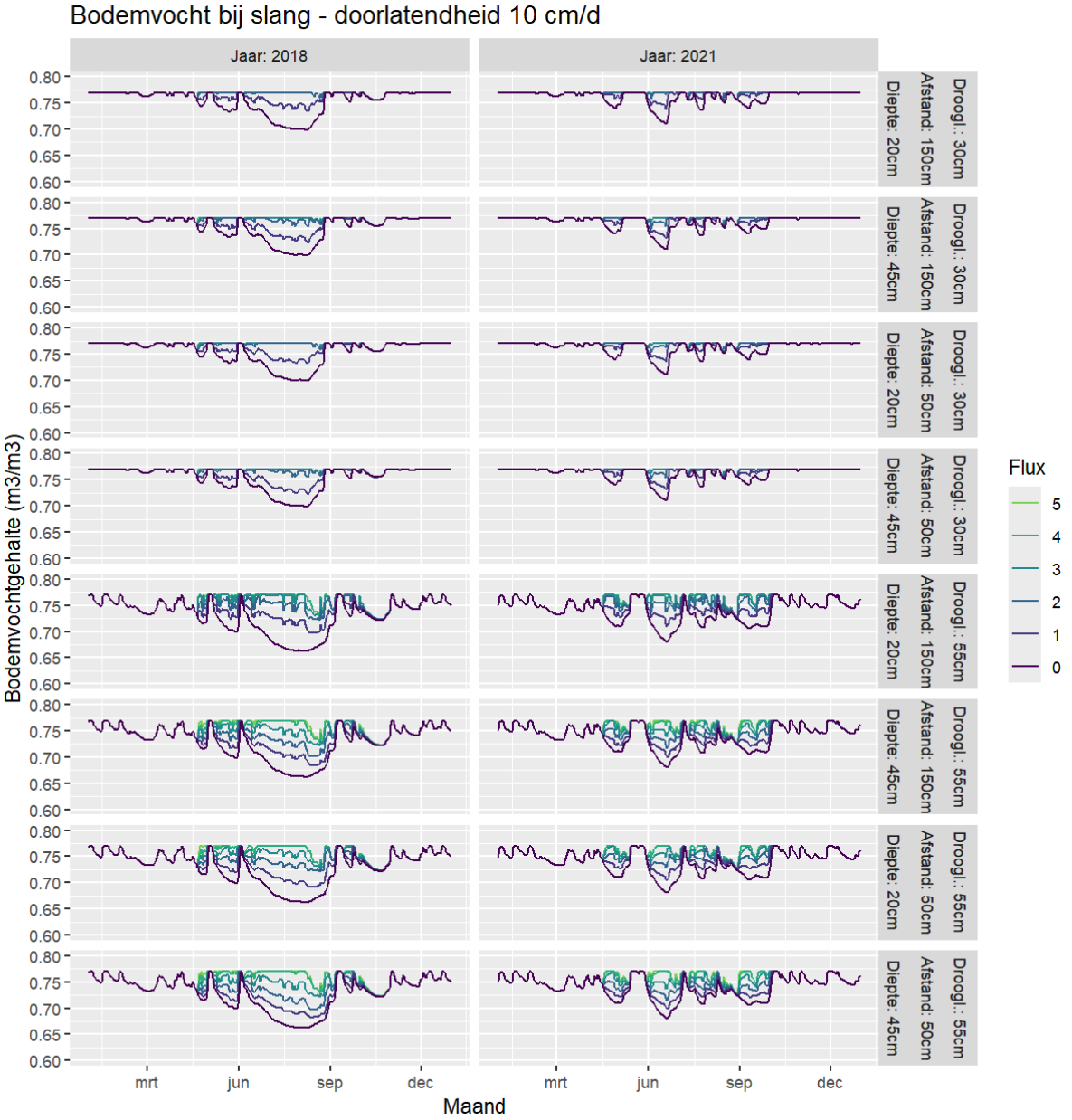


Figuur 9 Vergelijking tussen de minimale (laagste) grondwaterstanden over de gehele modelbreedte gedurende het groeiseizoen. De zichtbare punten geven modelscenario's weer die het gehele groeiseizoen zijn doorgerekend.

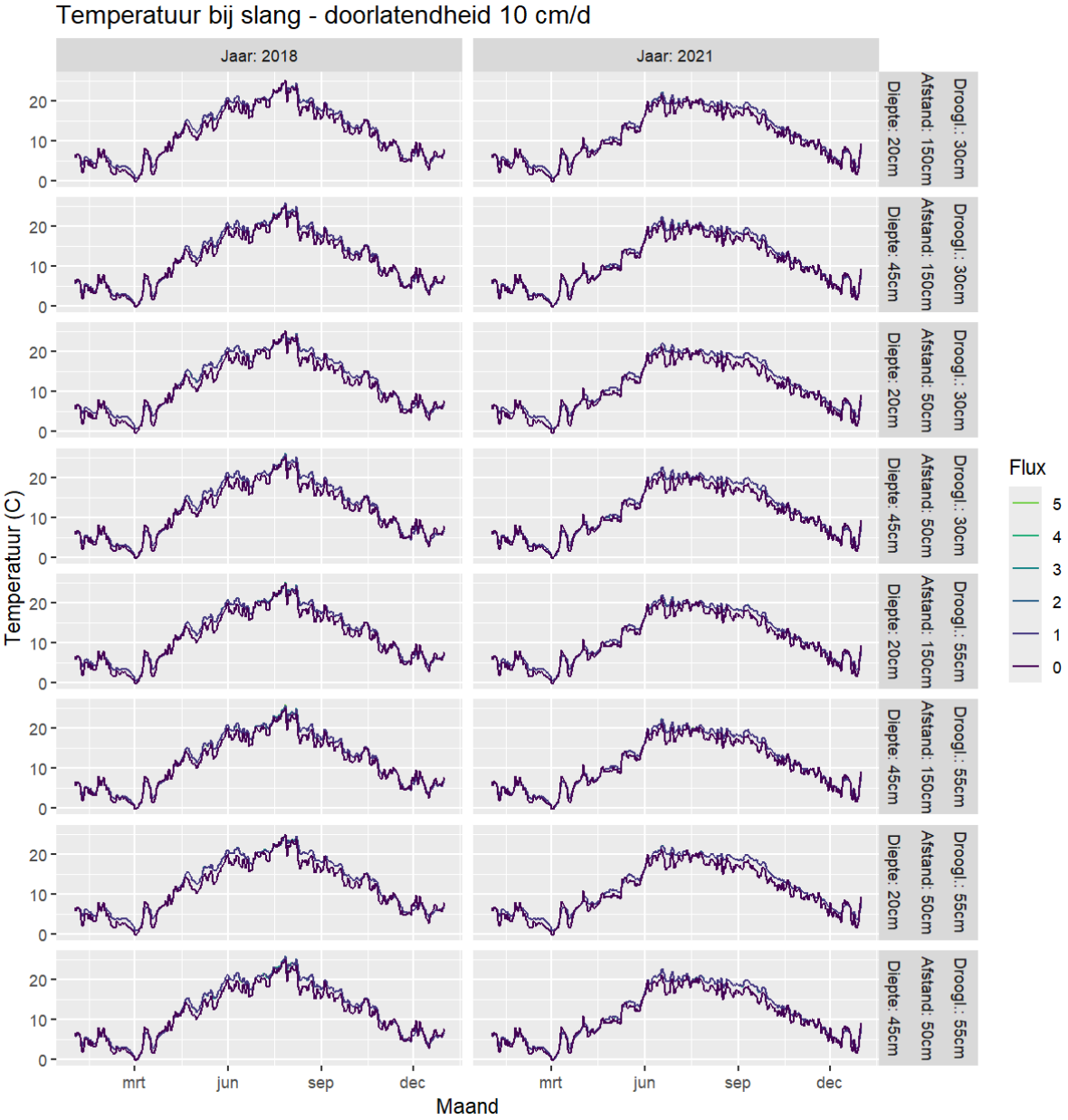
3.1.3 Bodemvocht en temperatuur

Uit de voorgaande paragraaf bleek dat het druppelen de grondwaterstand beïnvloedde, ook tussen de druppelslangen bij een grotere afstand. Kijkend naar de resultaten voor het bodemvocht op 30 cm diepte (de onderkant van de wortelzone) (Figuur 10, bijlage: Figuur 22, Figuur 23, Figuur 24) dan zijn de verschillen tussen modelresultaten ter hoogte van de slang en midden tussen de slang nog altijd niet sterk aanwezig. Horizontale verschillen tussen de slangen zijn het meest zichtbaar bij een lagere doorlatendheid (5 cm/d) en een grotere afstand tussen de druppelslangen (150 cm). Het algemene beeld is dat een hogere druppelflux leidt tot een grotere verzadiging van de bodem op deze diepte. Bij een drooglegging van 30 cm is de bodem op 30 cm diepte bijna de gehele modelrun verzadigd bij een druppelflux van 2 à 3 mm/d. Bij een drooglegging van 55 cm is dit nooit zo, maar zijn er wel lange periodes van volledige verzadiging bij druppelfluxen van 3 à 4 mm/d.

Voor de temperatuur (Figuur 11, bijlage: Figuur 25) geldt dat de verschillen tussen de scenario's minimaal zijn. Wel is te zien dat er in druppelscenario's iets hogere bodemtemperaturen (enkele graden) te zien zijn dan in de referentiescenario's. Dit komt omdat het geïnfiltreerde slootwater in het model over het algemeen hogere temperaturen had dan de bodem. Dit kan de CO_2 uitstoot beïnvloeden.



Figuur 10 Tijdreeksen van bodemvocht op een diepte van 30 cm (onderkant wortelzone) ter hoogte van de slangen in de modelscenario's met een doorlatendheid van het veraarde veen van 10 cm/d.



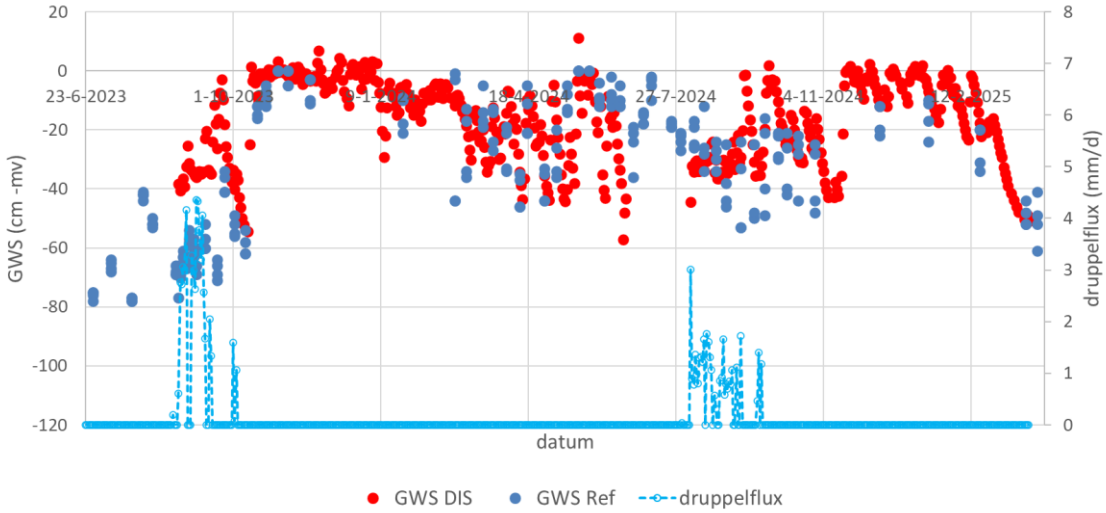
Figuur 11 Tijdreeksen van temperatuur op een diepte van 30 cm (onderkant wortelzone) ter hoogte van de slangen in de modelscenario's met een doorlatendheid van het veraarde veen van 10 cm/d.

3.1.4 Hydrologische plausibiliteitstoets

Vergelijking van de druppelscenario's met veldervaring in Zegveld

Ten opzichte van de ervaringen in Zegveld in 2023 en 2024 (Figuur 12) vallen enkele dingen op. Ten eerste werd er in 2023 en 2024 pas later in het jaar gedruppeld dan in de modelscenario's. Dit verschil is mogelijk veroorzaakt door de meteorologische omstandigheden, die zeker in 2024 een stuk natter waren dan in 2018 en 2021. Ook is de sturing van de druppelmomenten anders in de veldproef dan in het model: In de veldproef werd gestuurd op de grondwaterstand, en in de modelscenario's op het neerslagtekort. Grondwaterstanden zakken in het algemeen pas later in het jaar uit, wanneer het totale neerslagtekort toeneemt.

Ten tweede zien we dat de grondwaterstanden in Zegveld gedurende het druppelen (maxima rond 35 cm-mv) lager liggen dan in de modelscenario's. De maximale grondwaterstanden liggen in de modelscenario's meestal tussen de 10 en 20 cm onder maaiveld, zeker bij toenemende druppelfluxen. Dit komt wederom door de manier van sturing. In de proef zijn de druppelfluxen ook aangepast op de gewenste grondwaterstand, terwijl druppelfluxen in de modelscenario's constant zijn gehouden. Wat wel goed overeenkomt, is dat de toegepaste druppelfluxen duidelijk in staat zijn de grondwaterstand te verhogen.



Figuur 12: gemeten grondwaterstand bij DIS (rood) en referentie (donkerblauw) in Zegveld. Op de secundaire as staat de druppelflux aangegeven (lichtblauw).

Vergelijking van de referentiescenario's met SOMERS

De laagste grondwaterstanden in de referentiescenario's zijn in lijn met de laagste grondwaterstanden onder vergelijkbare omstandigheden op basis van SOMERS (vergelijking van Tabel 2 en Figuur 9).

Op basis van SOMERS is de laagste grondwaterstand bij een drooglegging van 30 cm-mv zo'n 52 cm-mv. In onze modelscenario's is de laagste grondwaterstand bij deze drooglegging tussen de 50 en 57 cm-mv, afhankelijk van jaar en doorlatendheid.

Voor een drooglegging tussen 50 en 60 cm-mv komt SOMERS uit op een laagste grondwaterstand van 70-79 cm-mv. In onze modelscenario's is de laagste grondwaterstand bij deze drooglegging tussen de 70 en 75 cm-mv, afhankelijk van jaar en doorlatendheid.

3.2 Berekende CO_2-uitstoot en mogelijke methaanuitstoot

Berekende effecten op de CO_2 uitstoot

De berekende CO_2-uitstoot in de scenario's wordt beïnvloed door het vochtgehalte, de bodemtemperatuur en het organisch stofgehalte van de bodem (Sectie 2.4). Door toepassing van een druppelsysteem veranderen het vochtgehalte en de bodemtemperatuur op verschillende dieptes. Hogere bodemvochtgehaltes kunnen leiden tot zowel een afname als toename van de CO_2 uitstoot doordat er in de aerobe afbraak potentie (AAP) een optimum is bij 65% waterverzadiging. Voor bodemlagen die

onder referentieomstandigheden droger zijn dan dit optimum, kan vernatting daarom ook leiden tot een hogere afbraak. Dit kan met name voorkomen in de ondiepe bodemlagen binnen de wortelzone. Bij een waterverzadigingspercentage van 65% is het bodemvochtgehalte namelijk 0.5 m3/m3 voor de veraarde veenlaag en zoals te zien in de figuren met de resultaten voor bodemvocht is onder referentieomstandigheden het bodemvocht op 30 cm diepte altijd hoger dan deze waarde.
Naast het effect op het bodemvocht kan druppelinfiltratie leiden tot een toename van de bodemtemperatuur, waardoor de CO2 uitstoot verhoogd wordt (Figuur 4).

De berekende jaarlijkse CO_2-uitstoot voor de verschillende scenario's is weergegeven in Figuur 13. De uitstoot voor de referentiescenario's is van dezelfde orde van grootte als de beste schatting CO2-uitstoot voor een vergelijkbaar profiel in SOMERS (7.2 ton/ha/jr voor een drooglegging van 30 cm-mv en 12.1-14.9 bij een drooglegging van 55 cm-mv, Tabel 2). In 2018 was de gemodelleerde uitstoot hoger dan de schatting uit SOMERS, in 2021 iets lager. Goed hierbij te benoemen is dat we de referentieuitstoot hebben bepaald op basis van de vocht- en temperatuurprofielen op dezelfde locaties als voor de druppelscenario's (bij en tussen de slangen). Omdat deze punten ver van de sloot liggen en dicht bij het midden van het perceel (zoals aangegeven in Figuur 2) zijn dit de locaties waar zonder druppelinfiltratie de grondwaterstand relatief ver weg zakt. Dichter bij de sloot zal de uitstoot dus minder zijn onder referentie omstandigheden.

Uit de vergelijking tussen de verschillende scenario's (Figuur 13) is verder op te maken dat bij een lage druppelflux de uitstoot in een enkel geval hoger wordt dan wanneer er niet gedruppeld wordt. Dit is bijvoorbeeld het geval voor het scenario met een druppelflux van 1 mm/d en druppelslangen op een diepte van 45 cm-mv met een afstand van 50 cm. In dit scenario is het netto effect op de onverzadigde zone dus dusdanig dat de cumulatieve afbraak over de gehele bodemkolom verhoogd wordt, ook al is de grondwaterstand wat hoger dan bij referentieomstandigheden. Bij een flux van 2 mm/d en hoger is de uitstoot echter in alle gevallen lager dan in het referentiescenario.

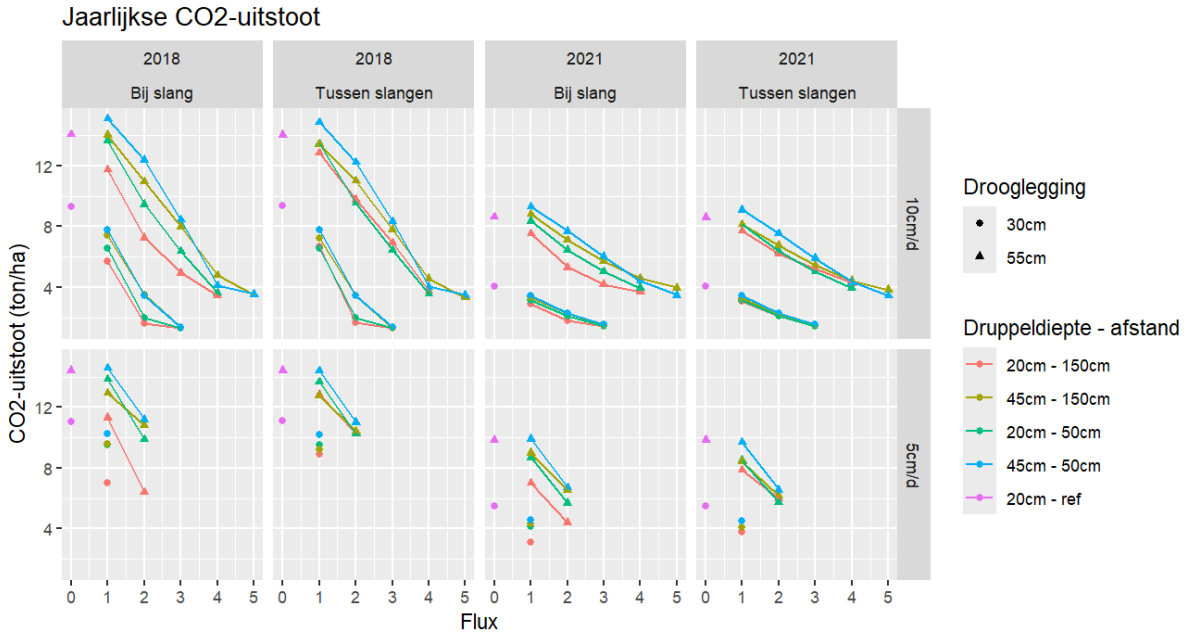
Uit de resultaten is duidelijk dat de drooglegging van invloed blijft bij de effecten van DIS: bij een bepaalde druppelflux geeft de combinatie met een kleinere drooglegging altijd een lagere uitstoot doordat de drooglegging invloed heeft op de grondwaterstand en hoever deze uitzakt onder referentieomstandigheden.

Qua druppeldiepte en druppelafstand is te zien dat de verschillen tussen scenario's het grootste zijn bij de druppelslangen, in plaats van tussen de druppelslangen. Zowel bij als tussen de slangen hebben de scenario's met een druppeldiepte van 20 cm de laagste uitstoot. Dit komt waarschijnlijk doordat ze de ondiepe bodemlagen die het meeste uitdrogen efficiënter kunnen vernatten.

Direct bij de druppelslangen is bij eenzelfde druppeldiepte de uitstoot lager bij een grotere druppelafstand. Dit komt doordat in deze scenario's de flux vanuit één druppelpunt hoger is om tot dezelfde gemiddelde flux te komen als bij een kleinere druppelafstand. Hierdoor zorgt het lokaal rond de druppelslang voor een groter vernattend effect.

De combinatie van een drooglegging van 30 cm-mv en druppelslangen op 20 cm diepte leidt al snel tot een uitstoot die richting nul gaat. Dit komt doordat in deze scenario's het gehele bodemprofiel verzadigd raakt (de grondwaterstand gaat richting maaiveld gedurende het druppelen vanaf fluxen van 2 mm/d, zoals te zien in Figuur 6). Evenzo vlakt het effect van de flux op de uitstoot af bij een drooglegging van 55 cm en fluxen vanaf 4 mm/d, omdat ook onder deze condities de grondwaterstand aan maaiveld staat tijdens het druppelen.

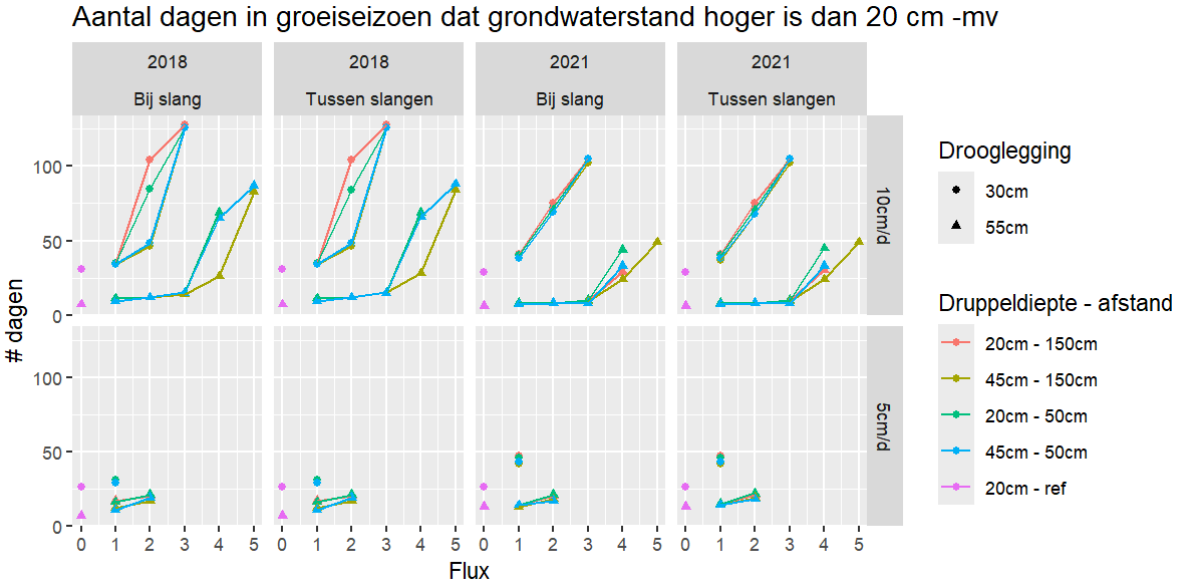
De scenario's met een lagere doorlatendheid geven een indicatie van het effect van een minder doorlatende bodem. Ten eerste is de uitstoot onder referentieomstandigheden wat hoger dan bij een hogere doorlatendheid, met name in geval van de drooglegging van 30 cm. Dit komt doordat de drooglegging minder invloed heeft op de grondwaterstand middenin het perceel, waardoor deze verder uitzakt. Daarnaast is er een groter horizontaal verschil in de CO2 uitstoot bij de slang en tussen de slangen. Dit is met name te zien bij een druppelafstand van 150 cm.



Figuur 13 Vergelijking tussen de jaarlijkse CO_2-uitstoot van verschillende modelscenario's, berekend volgens de methode van SOMERS 2.0. Resultaten voor alleen het groeiseizoen zijn terug te vinden in de bijlage (Figuur 26).

Mogelijke effecten op de methaanuitstoot

Wanneer de grondwaterstanden verhoogd worden tot minder dan 20 cm -mv, neemt het risico op methaanuitstoot toe. In Figuur 14 is te zien hoeveel dagen in het groeiseizoen het bedruppelen tot zulke hoge grondwaterstanden leidt. In de modelscenario's is buiten het groeiseizoen niet gedruppeld, dus daar zullen in de druppelscenario's en de referentiescenario's vergelijkbare periodes met hoge grondwaterstanden zijn. De resultaten laten zien dat het aantal dagen met hoge grondwaterstanden snel toeneemt bij toenemende dagelijkse druppelflux. In scenario's waar de CO_2-uitstoot relatief laag was, is het aantal dagen waar methaanuitstoot verwacht wordt juist relatief groot, en vice versa.

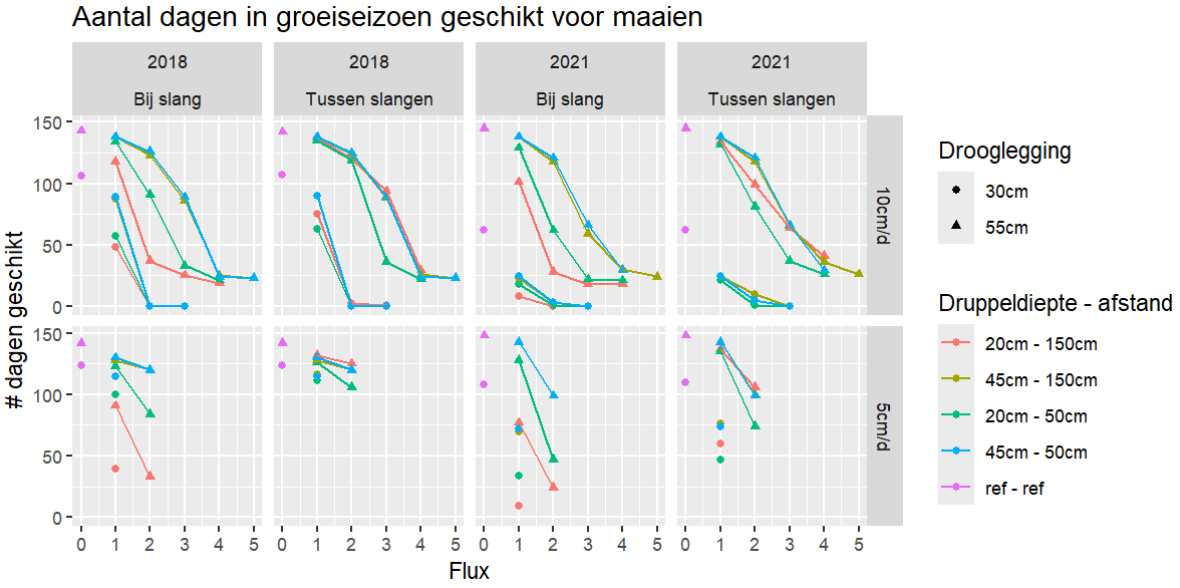


Figuur 14 Vergelijking van hoeveelheid dagen in groeiseizoen dat de grondwaterstand hoger is dan 20 cm -mv, als indicatie voor verwachte methaanuitstoot. Het groeiseizoen (1-apr t/m 30-sep) heeft in totaal 183 dagen.

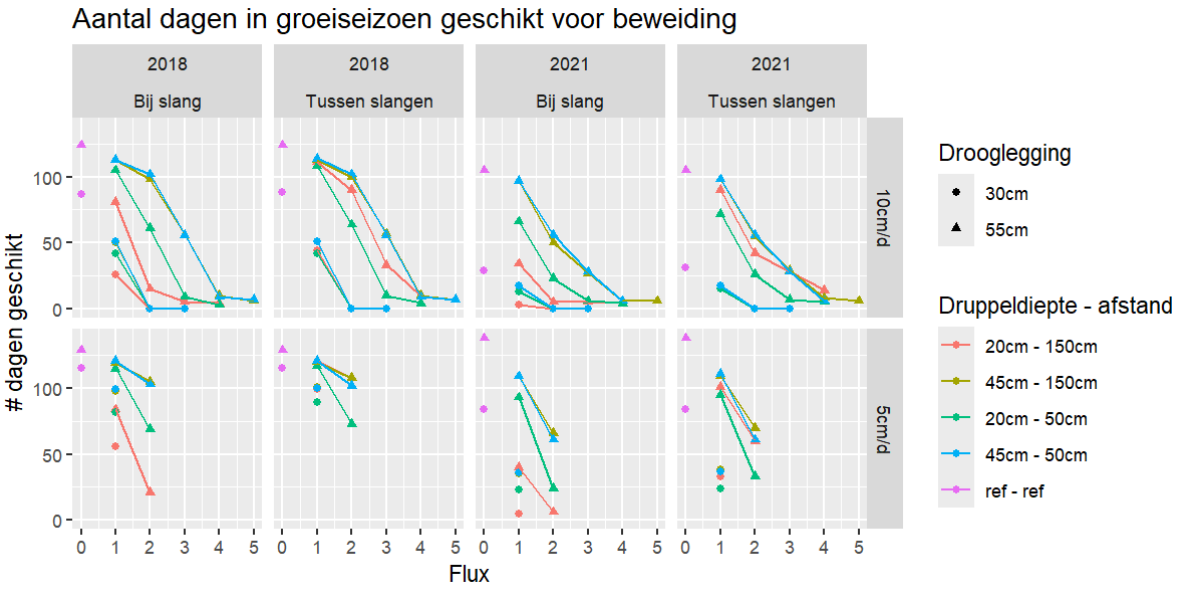
3.3 Landbouwkundige effecten

Om de landbouwkundige effecten te toetsen, is er naar verschillende landbouwkundige functies gekeken volgens de methode besproken in Sectie 2.5. De resultaten geven de hoeveelheid dagen in het groeiseizoen weer waarop gemaaid kan worden (Figuur 15), waarop beweid kan worden (Figuur 16) en waarop het gewas mogelijk zuurstofstress kan ondervinden (Figuur 17). Hier is opnieuw te zien dat de drooglegging een grote rol speelt. De modelgeometrie met de laagste CO_2-uitstoot (druppelslangen op 20 cm diepte en met een afstand van 150 cm) heeft net als een hogere methaanuitstoot ook de minste dagen waarop beweid en gemaaid kan worden, en de grootste kans op zuurstofstress.

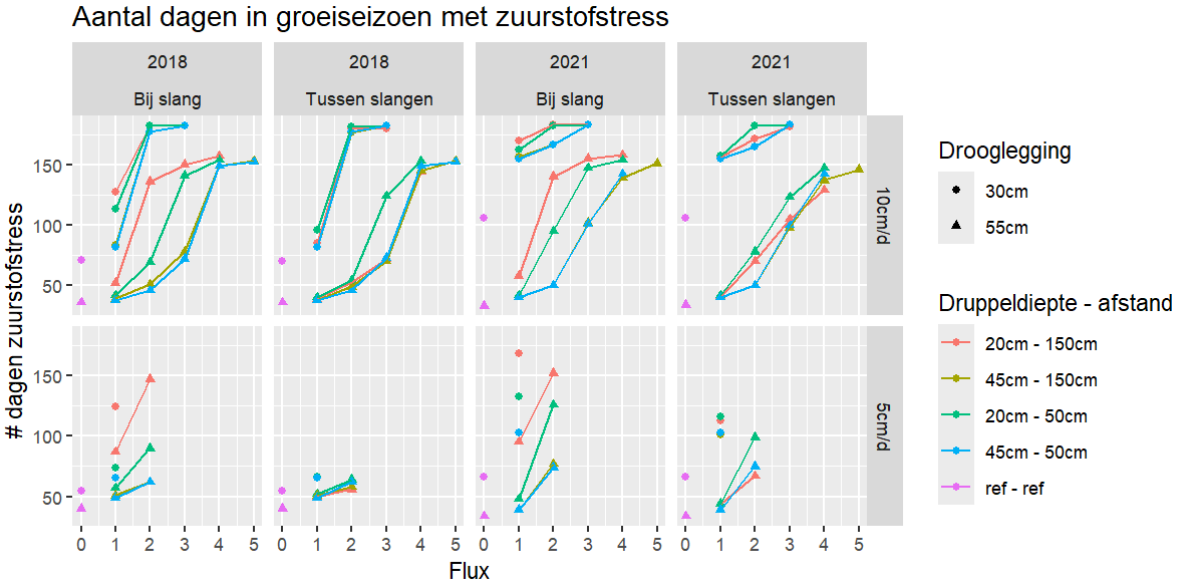
Het valt op dat de landbouwkundige geschiktheid snel achteruitgaat bij een toenemende druppelflux. Zo kan bij een drooglegging van 30 cm-mv in de meeste scenario's al minder dan 10 dagen per jaar gemaaid worden en nog maar 0 dagen beweid. Dit illustreert hoe nat de bodem wordt bij dit scenario, wat ook terug te zien was in de grondwaterstanden. Ook ondervindt het gewas op de meeste dagen zuurstofstress. Bij een grotere drooglegging blijven landbouwkundige functies langer behouden. Ook is te zien dat landbouwkundige functies beter zijn bij een grotere druppeldiepte.



Figuur 15 Vergelijking van hoeveelheid dagen in groeiseizoen dat de zuigspanning op 15 cm diepte groter is dan -40 cm. Dit geeft aan hoeveel dagen het gemodelleerde perceel maaibaar zou zijn. Het groeiseizoen (1-apr t/m 30-sep) heeft in totaal 183 dagen.



Figuur 16 Vergelijking van hoeveelheid dagen in groeiseizoen dat de zuigspanning op 10 cm diepte groter is dan -70 cm. Dit geeft aan hoeveel dagen het gemodelleerde perceel beweidbaar zou zijn. Het groeiseizoen (1-apr t/m 30-sep) heeft in totaal 183 dagen.



Figuur 17 Vergelijking van hoeveelheid dagen in groeiseizoen dat de waterverzadiging op 15 cm diepte groter is dan 95%. Dit geeft aan op hoeveel dagen het gewas mogelijk zuurstofstress ervaart. Het groeiseizoen (1-apr t/m 30-sep) heeft in totaal 183 dagen.

4 Discussie

4.1 Gecombineerde effecten verschillende scenario's

CO_2 en methaan

De modelresultaten illustreren dat toepassing van DIS snel effect kan hebben op de grondwaterstanden. Dit komt doordat door een goede sponswerking van het veen, de veenbodem onder referentieomstandigheden behoorlijk vochtig blijft boven het grondwater, waardoor toevoeging van een klein beetje water in de onverzadigde zone al snel leidt tot waterverzadiging en een toename van de grondwaterstand. Een verhoogde grondwaterstand direct bij de druppelslang leidt al snel tot een verhoging ook tussen de druppelslang, ook bij een druppelafstand van 150 cm. De verzadigde doorlatendheid is voldoende om horizontale grondwaterstandsverschillen snel op te heffen (vergelijk dit met de aanbevolen maximale afstand van drains van 4-6 m bij WIS systemen waarbij ook horizontale grondwaterstandsverschillen overbrugd moeten worden). Hierdoor hebben verschillende afstanden weinig effect op de grondwaterstand. Bij lage fluxen is er echter wel een effect van de diepte van de slangen: ondiepere slangen leiden in dit geval tot een grotere grondwaterstandverhoging. Vanaf een bepaalde flux binnen de doorgerekende range van 1-5 mm/d bereikt echter elke modelgeometrie een grondwaterstand aan maaiveld gedurende het druppelen, waardoor de diepte van de druppelslangen bij die hoge fluxen niet meer uitmaakt.

De diepte van de druppelslangen heeft evenzo, in de fluxrange waarbinnen de grondwaterstand nog niet aan maaiveld komt, een effect op de CO_2 uitstoot. De scenario's met ondiepe druppelslangen geven in dit bereik een lagere uitstoot dan met de diepere druppelslangen. Dit is te verklaren doordat ze de onverzadigde zone efficiënter weten te vernatten. Verticale stroming naar beneden gaat over het algemeen gemakkelijker dan capillaire opstijging boven de slangen, waardoor de diepe slangen relatief minder effect hebben op de vochtigheid van de bodem boven de slangen.

Wanneer we kijken naar het risico op methaanvorming, is er juist meer risico op methaanvorming bij ondiepe druppelslangen. Bij een drooglegging van 30 cm en een flux van 2 mm/d staat de grondwaterstand tijdens het druppelen dicht bij maaiveld in geval van ondiepe druppelslangen, waardoor er een hoger risico is op methaanvorming. Bij diepere slangen staat bij dezelfde drooglegging en flux de grondwaterstand lager waardoor er een stuk minder risico is op methaanvorming.

Op basis van onderzoek uit het NOBV is voor het gecombineerde effect van CO_2 én methaan een grondwaterstand tussen 20 en 40 cm onder maaiveld optimaal. Bij een drooglegging van 30 cm wordt dit in de scenario's het beste bereikt bij een druppelflux van 2 mm/d en een druppeldiepte van 45 cm. Bij een drooglegging van 50 cm wordt dit bereikt bij fluxen van 3 mm/d bij beide druppeldieptes. Bij hogere fluxen en een ondiepe druppeldiepte daalt weliswaar de CO_2 uitstoot, maar neemt de kans op methaanuitstoot toe. Op basis van de berekeningen kan de CO_2 uitstoot sterk gereduceerd worden, maar het is goed te onthouden dat dit samengaat met een vrijwel volledige vernatting van de bodemkolom.

Risico op lachgasemissies

Lachgas is een derde broeikasgas dat vrij kan komen uit de veenbodem. Deze kan relevant zijn voor de totale broeikasgasbalans omdat lachgas een zeer sterk broeikasgas is. Lachgasemissies zijn echter grillig en moeilijk te voorspellen en daarom niet meegenomen in deze studie. Op een veenbodem kunnen ze zowel ontstaan door mineralisatie bij veenafbraak als door bemesting onder relatief vochtige omstandigheden. Door het veen te vernatten gaat de mineralisatie naar beneden, maar het risico op lachgasemissies bij bemesting kan toenemen. Met name in een bodem waarin aerobe en anaerobe omstandigheden elkaar afwisselen, is er een risico op lachgasemissies. Het is daarom voor te stellen dat ondiep druppelen het risico op lachgasemissies laat toenemen: er ontstaan hierbij zowel in de ruimte als in de tijd afwisselingen van aerobe en anaerobe omstandigheden in een bodemlaag waar stikstof uit mest beschikbaar kan zijn. Voor vervolgstappen in de ontwikkeling van DIS is het daarom belangrijk ook rekening te houden met mogelijke effecten op lachgasemissies in combinatie met bemesting.

Landbouwkundige functies

Doordat DIS de bodem effectief kan vernatten, heeft dit ook een impact op landbouwkundige condities. Voor alle modelgeometrieën komt de grondwaterstand bij een bepaalde flux in de doorgerekende range tot aan het maaiveld tijdens het druppelen. Om het land te bewerken en het gras te laten groeien, is echter enige drooglegging nodig, zowel voor draagkracht van de bodem als zuurstof voor de wortels.

In de scenario's is te zien dat de scenario's met een grotere druppelafstand en ondiepe druppelpunten eerder een negatief effect hebben op landbouwkundige functies. Bij de grotere afstand is dit met name direct bij de druppelslang omdat in deze scenario's de flux bij de druppelslang groter moet zijn om dezelfde gemiddelde flux over de breedte van het model te bereiken, waardoor bij de druppelslang een grotere vernatting plaatsvindt. Het ondiepe druppelen heeft eerder een negatief effect omdat het leidt tot een iets grotere toename van de grondwaterstand en een directe vernatting op de dieptes die relevant zijn voor de draagkracht en de wortels.

Gecombineerd effect

De effecten van de verschillende scenario's geven weer dat er veel te sturen is bij DIS via inrichting en het beheer, wat direct effect heeft op de uitstoot van broeikasgassen, maar ook op landbouwkundige functies. Dit betekent dat deze functies tegen elkaar moeten worden afgewogen bij de inrichting van een DIS systeem. Wordt er puur geredeneerd vanuit de CO_2 uitstoot dan is het mogelijk met DIS het gehele bodemprofiel zeer nat te houden en daarmee de CO_2 uitstoot significant te beperken. Dit gaat het beste bij een druppeldiepte van 20 cm en vraagt om een druppelflux van ten minste 2 mm/d. Wanneer het gecombineerde effect van CO_2 en methaan wordt bekeken, is het wenselijker niet de hele bodemkolom te vernatten, en dus aan te sturen op lagere fluxen die resulteren in grondwaterstanden tussen 20 en 40 cm-mv. Dit is ook positiever voor de landbouwkundige functies. Met name gecombineerd met een kleine drooglegging zijn geen grote druppelfluxen nodig. Bij lage fluxen in combinatie met grotere drooglegging, ontstaat er een risico dat het DIS systeem juist gunstige omstandigheden creëert in de onverzadigde zone voor afbraak, en dat daarmee de CO_2 uitstoot nauwelijks verandert of juist omhoog gaat. In de scenario's was dit het geval bij de drooglegging van 55 cm, een

druppeldiepte van 45 cm gecombineerd met een flux van 1 mm/d. Bij relatief grote drooggleggingen en lage fluxen lijkt dit daarom een reeël risico. In de tijdreeksen van grondwater is te zien dat de grondwaterstand bij dit scenario ten tijde van het druppelen nog ruim onder de 60 cm-mv blijft. Ten behoeve van de broeikasgassen CO_2 en methaan is het waarschijnlijk het veiligst te sturen op een grondwaterstand tussen 20 en 40 cm-mv. Ten behoeve van lachgas kan het vervolgens de voorkeur hebben de druppelslangen aan te leggen aan de onderkant van deze range, en bijvoorbeeld niet direct in de wortelzone.

4.2 Mogelijke andere effecten

Vernatting kan een risico vormen voor de waterkwaliteit voor bodems die sterk zijn opgeladen met fosfor. Meestal zit de grootste fosfor voorraad ondiep in het bodemprofiel. Wordt de bodem dus tot ondiep vernat, dan nemen deze risico's toe. Het risico is daarmee te vergelijken met het risico op methaanuitstoot. De scenario's laten een duidelijk effect zien op de grondwaterstand. Met name een kleine drooglegging in combinatie met druppelslangen op 20 cm-mv en hoge fluxen leidt tot een grote vernatting, en dus ook tot mogelijke mobilisatie van fosfor. De directe effecten op het oppervlaktewater zijn mogelijk beperkt omdat er geen drains aanwezig zijn die kunnen leiden tot een snelle afvoer van gemobiliseerd fosfor. Dit kan een voordeel zijn ten opzichte van een WIS systeem, maar vraagt meer onderzoek in de praktijk.

DIS kan mogelijk een positief effect hebben voor weidevogels omdat het de onverzadigde zone vernat waardoor de vogels beter in de grond kunnen pikken op zoek naar voedsel. De timing van de druppelinfiltratie zal dan ook een rol spelen, met name in het voorjaar is het voor deze doelstelling belangrijk de bodem vochtig te houden. Het vraagt dus ook bepaalde keuzes in het beheer van het systeem. Daarnaast kan het ook té nat worden: net als voor de wortels van het gras heeft het bodemleven ook zuurstof nodig.

4.3 Effecten locatie specifieke omstandigheden en modelkeuzes

Met de modelscenario's zijn de effecten van een aantal factoren verkend, maar zijn ook een aantal factoren constant gehouden. We hebben onder andere gekeken naar het effect van de doorlatendheid van de bodem. Een halvering van deze doorlatendheid maakte helaas dat het model bij de hoge druppelfluxen niet wilde doorrekenen. Voor de scenario's die wel zijn doorgerekend, blijkt dat bij een lagere doorlatendheid de afstand tussen druppelslangen een belangrijker rol zal spelen: er is namelijk een groter verschil tussen de uitstoot bij de slangen en tussen de slangen bij de druppelafstand van 150 cm dan het geval is bij een grotere doorlatendheid. Dit is logisch omdat het horizontale transport van water in zowel de verzadigde als onverzadigde zone moeilijker wordt.

Er zijn ook factoren constant gehouden. Zo is in het model aangenomen dat er geen kwel of wegzijgingsflux is. Net als in het geval van WIS systemen zal in een sterke kwelsituatie de maatregel minder nodig zijn, het veen blijft dan al van nature redelijk nat. Wanneer het echter nog steeds wenselijk is de bodem verder te vernatten in een kwelsituatie is DIS een mogelijke oplossingsrichting, terwijl WIS systemen juist een omgekeerd effect

kunnen hebben. Bij WIS systemen wordt namelijk ook water afgevoerd, terwijl bij een DIS systeem alleen water wordt geïnfiltreerd, en wel direct in de onverzadigde zone.

In geval van een sterke wegzijgingssituatie kan DIS mogelijk ook een voordeel hebben ten opzichte van WIS, omdat het water direct in de bodemlaag wordt geïnfiltreerd waar vernatting het meeste effect kan hebben op de veenafbraak (namelijk in de onverzadigde zone waar onder referentie omstandigheden veel zuurstof aanwezig is). In geval van WIS vindt infiltratie in de verzadigde zone plaats en is de beïnvloeding van de onverzadigde zone minder direct. In geval van dunne veenpakketten, kan bij WIS ook veel water verloren gaan via wegzijging, waar bij DIS mogelijk meer water effectief in de onverzadigde zone blijft 'hangen' door de sponswerking van het veen. In deze gevallen zal de afstand tussen druppelslangen wel een belangrijker rol spelen, omdat vernatting dan met name gebeurt via verhoging van het bodemvocht in de onverzadigde zone, in plaats van via verhoging van het grondwater. Het zal in dit geval gunstiger zijn om op korte afstanden te druppelen om ook tussen druppelslangen effect te hebben. Onder deze condities is het wel moeilijker te sturen op grondwaterstanden en is er dus nog een risico om juist gunstiger condities in de onverzadigde zone te creëren. DIS onder deze condities (diep wegzakkende grondwaterstanden) zal dan ook meer aandacht en expertise vragen bij de aanleg en het beheer, omdat positieve effecten op broeikasgassen niet zonder meer gegarandeerd zijn.

De bodemopbouw in ons model bestaat puur uit veen. Op veel locaties in het veenweidegebied is ook een kleidek aanwezig. Als het doel met name is om de afbraak van specifiek de veenlaag tegen te gaan, kan met DIS de diepte van de druppelslangen hierop worden aangepast. Dit geeft extra flexibiliteit.

Naast keuzes over de ligging van de druppelslangen is er bij DIS systemen ook veel flexibiliteit mogelijk in het beheer. In ons model hebben we de infiltratiemomenten gekoppeld aan het neerslagtekort en steeds gedruppeld met een vaste flux. In de praktijk kan er echter ook gestuurd worden op gewenste grondwaterstanden of gewenst bodemvocht/zuigspanning op bepaalde diepte en kunnen fluxen worden gevarieerd.

Er zijn dus verschillende knoppen waaraan gedraaid kan worden bij de inrichting en het beheer van een DIS systeem om het optimaal in te richten voor de lokale situatie en de belangrijkste doelstellingen. Daarbij is wel de kanttekening te maken dat bij hele lage fluxen DIS ook een zeer beperkt of zelfs averechts effect kan hebben op de uitstoot, indien het vocht- en temperatuur profiel zo wordt beïnvloedt dat er netto over de diepte gunstiger condities zijn ontstaan voor afbraak.

4.4 aanvullende overwegingen bij aanleg

In de praktijk zullen ook praktische kanten van een DIS systeem invloed hebben op de mogelijke uitvoeringsvarianten. Bijvoorbeeld de laagst mogelijke flux per druppelpunt: deze bepaalt hoe en in welke mate een gemiddelde flux van X mm/d bereikt kan worden. Keuzes in afstand en in druppelregime (bijvoorbeeld druppelen met korte pulsen in plaats van continu) zijn hiervoor nodig. Ook kan de gewenste flux uit een bepaald druppelpunt dusdanig hoog zijn dat er lokaal een zeer natte plek ontstaat of zelfs kortsluiting naar het maaiveld, wat ongewenst is vanuit landbouwperspectief.

Op basis van de modelscenario's blijkt verder dat de combinatie van DIS met drooglegging een belangrijke rol kan spelen, omdat de drooglegging een invloed heeft op de mate van uitzakken van de grondwaterstand in de zomer. Als de bodem bij een kleine drooglegging al vrij nat blijft is maar weinig aanvullende infiltratie nodig om de bodem nog verder te vernatten. Bij een grote drooglegging ontstaat ook een waterverliespost naar de sloot indien DIS stuurt op grondwaterstanden boven slootpeil. Hierdoor is een grotere druppelflux nodig om hetzelfde effect te hebben. In de praktijk kan het echter zijn dat de uitwisseling tussen sloot en perceel minder sterk is dan in het hydrologisch model, bijvoorbeeld door een grote slootweerstand. Dit kan per locatie verschillen. Een grotere slootweerstand leidt ertoe dat de sloot maar beperkt effect heeft op de grondwaterstand in het perceel en dat deze dus verder uitzakt in de zomer. In dat geval wordt het effect van de drooglegging minder groot. Ook de doorlatendheid van het veen kan per locatie verschillen.

4.5 Verschillen met Water Infiltratie Systemen (WIS)

DIS is een relatief nieuwe en nog niet veel toegepaste methode om het veen te vernatten. Zoals ook deze studie aantoont zijn er nog veel dingen te leren in de praktijk, bijvoorbeeld ten aanzien van het juiste beheer om verschillende doelstellingen te verenigen. Een al meer gangbare methode voor vernatting zijn WIS systemen.

Een aantal belangrijke verschillen met een WIS systeem zijn:

- bij DIS is het mogelijk vernatting direct in de onverzadigde zone toe te passen. Hierdoor kan het veen efficiënter vernat worden op die dieptes waar ook de meeste CO_2 uitstoot ontstaat onder referentie-omstandigheden (met name in de bovenste 50 cm van de veenbodem).
- DIS geeft wat meer mogelijkheden tot sturing en aanpassing in beheer: er kan gevarieerd worden in fluxen en in momenten van druppelen. Dit brengt echter ook meer complexiteit met zich mee en vraagt meer vakmanschap van de gebruiker. Daarnaast is er een risico dat wanneer met name gestuurd wordt op maximale grasopbrengsten dit gepaard gaat met dusdanig lage fluxen dat er nauwelijks effect is op de CO_2 uitstoot, of zelfs een averechts effect. Dit laatste risico zal er met name zijn bij grotere drooglegginggen.
- In deze studie hebben we ons niet gericht op de kosten van het systeem. De kosten van een DIS systeem zullen hoger zijn dan van een WIS systeem omdat het technisch complexer is.
- Bij een DIS systeem is er alleen sprake van infiltratie, maar geen drainage. Drainage loopt nog steeds via de sloot, eventueel in combinatie met een drainerende greppel. Er is daardoor eerder een risico op wateroverlast wanneer de bodem al relatief nat is en daar een flinke bui overheen komt. In geval van WIS systemen bevordert het systeem onder die omstandigheden de drainage van een perceel.
- Ook WIS systemen kunnen een averechts effect hebben op broeikasgasemissies dan gewenst. Dit heeft echter een andere oorzaak dan bij DIS. In geval van WIS ontstaan ongewenst hogere CO_2 emissies wanneer WIS wordt gecombineerd met grotere drooglegging of een sterke kwelsituatie: in dat geval overheerst het drainerende effect van het systeem. Bij DIS kunnen CO_2 emissies toenemen

doordat gunstiger omstandigheden in de onverzadigde zone worden gecreëerd voor afbraak.

5 Conclusies en aanbevelingen

In deze studie zijn verkennende modelberekeningen gedaan om de mogelijke effecten van druppelinfiltratie systemen (DIS) op veen in beeld te brengen. Middels hydrologische perceelsmodellen met het onverzadigde zone model Hydrus2D hebben we in verschillende scenario's verkend welke effecten te verwachten zijn op de vochtigheid en temperatuur van de bodem rond en tussen de druppelslangen bij verschillende fluxen, dieptes en afstand van de druppelslangen in combinatie met bepaalde drooglegging. Op basis van die resultaten is de CO_2 uitstoot berekend met de methode uit SOMERS 2.0 en zijn de effecten op landbouwkundige functies indicatief gekwantificeerd.

De belangrijkste conclusie is dat DIS al bij lage fluxen een duidelijk vernattend effect heeft. Dit komt doordat het veen van nature een goede sponswerking heeft, waardoor het vochtig blijft boven het grondwater en toevoeging van een kleine hoeveelheid water in de onverzadigde zone al snel leidt tot waterverzadiging. Er is relatief weinig bergingscapaciteit in de onverzadigde zone. Hierdoor heeft het een verhogend effect op de grondwaterstand en het bodemvocht en daarmee over het algemeen een gunstig effect op CO_2 uitstoot. Wel is er snel een risico op zeer natte omstandigheden, waardoor methaanvorming kan toenemen en landbouwkundige functies afnemen. Dit vraagt dan ook een nauwkeurig beheer van het druppelsysteem. Het positieve is dat DIS veel flexibiliteit geeft door bijvoorbeeld keuzes in de ligging en afstand van slangen, maar ook in het beheer doordat het systeem met verschillende fluxen kan druppelen op gewenste momenten. Dit maakt het echter tegelijkertijd complex en vraagt daarmee meer vakmanschap en keuzes in beheer en aanleg.

Uit de scenario's blijkt verder dat:

- De maatregel DIS heeft al bij lage fluxen (1 mm/d) een verhogend effect op de grondwaterstand. Voor dit effect maakt de druppelafstand weinig uit (binnen het gemodelleerde bereik van 50 en 150 cm afstand tussen slangen).
- In combinatie met een kleine drooglegging (30 cm-mv) leidt druppelen al snel tot grondwaterstanden aan maaiveld gedurende de druppelperiode. Dit gebeurt al bij fluxen van 2-3 mm/d als er ondiep wordt gedruppeld. Bij dieper druppelen gebeurt dit bij fluxen groter dan 3 mm/d. Het is duidelijk dat in zo'n natte situatie het risico op methaanvorming toeneemt en de landbouwkundige functies sterk afnemen. Risico's worden groter bij een ondiepe ligging van de druppelslangen. DIS in combinatie met kleine drooglegingen vraagt daarom lage fluxen en zorgvuldig beheer.
- In combinatie met een grotere drooglegging (50 cm-mv) gaan de grondwaterstanden tijdens het druppelen naar maaiveld bij druppelfluxen groter dan 4 en 5 mm/d, afhankelijk van de druppeldiepte. Lagere fluxen zijn dus gewenst om methaanvorming tegen te gaan en het landgebruik in stand te houden. Bij lage fluxen (1 mm/d) is er echter in de modelscenario's een risico dat er geen effect of zelfs een negatief effect optreedt op CO_2 uitstoot doordat het netto effect op de onverzadigde zone gunstiger wordt voor afbraak. Dit risico was er met name in scenario's met een grotere druppeldiepte. DIS in combinatie met een grotere drooglegging vraagt dus om meer water en heeft een groter risico om

juist gunstiger omstandigheden te creëren in de onverzadigde zone voor veenafbraak.

Een robuuste sturing met beperkt risico op het ongewenst juist verhogen van CO_2 emissies zou bijvoorbeeld zijn om te sturen op grondwaterstanden tussen 20 en 40 cm-mv. Binnen dit grondwaterstandsbereik is het gecombineerde broeikasgaseffect van CO_2 en methaan waarschijnlijk minimaal, zoals onder andere naar voren komt uit het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden. Het risico op lachgasemissies vraagt nog wel aandacht. Het is mogelijk dat lachgasemissies versterkt worden als ondiep wordt gedruppeld, omdat op die diepte dan afwisselend aerobe en anaerobe omstandigheden ontstaan en ondiep meer stikstof uit mest beschikbaar kan zijn.

Een grondwaterstandsrange van 20-40 cm-mv wordt in de scenario's bij een drooglegging van 30 cm het beste bereikt bij een druppelflux van 2 mm/d en een druppeldiepte van 45 cm. Bij een drooglegging van 55 cm wordt dit bereikt bij fluxen van 3 mm/d bij beide druppeldieptes. Het systeem is dus efficiënter bij kleinere droogleggingen. Bij hogere fluxen daalt weliswaar de CO_2 uitstoot nog verder, maar neemt de kans op methaanuitstoot toe.

Op basis van deze modelstudie en de eerste veldresultaten lijkt DIS een veelbelovende maatregel om veen te vernatten, mogelijk ook in gebieden waar WIS systemen minder geschikt zijn. Het is aan te raden praktische ervaring op te doen middels een veldproef waarbij ook de effecten op bijvoorbeeld draagkracht en opbrengst worden meegenomen, naast hydrologische metingen. Verder kan het waardevol zijn om in de veldproef verschillende dieptes en afstanden te testen met verschillend beheer om de rol van deze factoren ook in het veld te valideren. Belangrijke aspecten om aanvullend rekening mee te houden zijn:

- Een mogelijk versterkend effect op lachgasemissies bij ondiep druppelen.
- De invloed van een hoge flux op één druppelpunt op eventuele kortsluitingsstromen naar maaiveld.
- Praktisch haalbare fluxen per druppelpunt in de afweging welke afstand tussen druppelslangen te hanteren.
- Mogelijke effecten op wateroverlast door de combinatie van vernatting zonder aanvullend drainage mechanisme.
- Mogelijke effecten op de waterkwaliteit door de vernatting en eventuele verschillen met WIS systemen door de afwezigheid van drainage.
- De combinatie met drooglegging en het slootkanteffect in de praktijk.
- Eventuele variaties in doorlatendheid van het veen die een effect kunnen hebben op de werking.

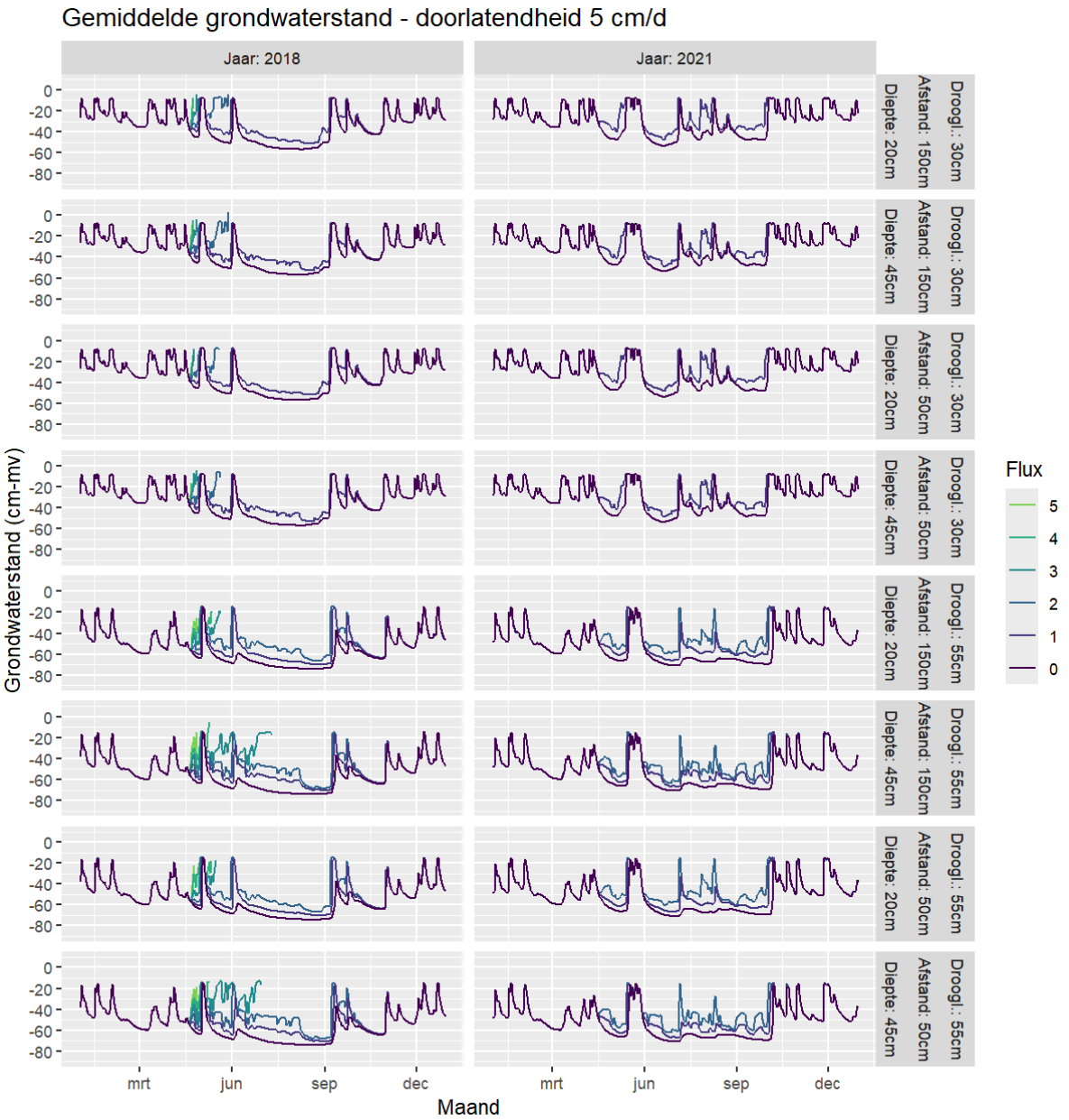
Een gemakkelijke manier om de maatregel betaalbaarder en dus aantrekkelijker te maken is de afstand tussen de druppelslangen te maximaliseren. Op basis van het model lijkt een afstand van 150 cm bijna net zo goed te werken als van 50 cm wanneer het gaat om CO_2 uitstoot. Het nadeel is dan wel dat de flux in de druppelslang lokaal hoger moet zijn om tot dezelfde gemiddelde flux te komen. Hierdoor kan lokaal rond de druppelslang een sterkere vernatting plaatsvinden met mogelijk negatieve gevolgen voor de

draagkracht en grasgroei. Ook kan door locatiespecifieke omstandigheden de afstand relevanter worden voor de werking, we verwachten dit bijvoorbeeld bij een grotere drooglegging, een lagere doorlatendheid van het veen en bij een (sterke) wegzijgingssituatie.

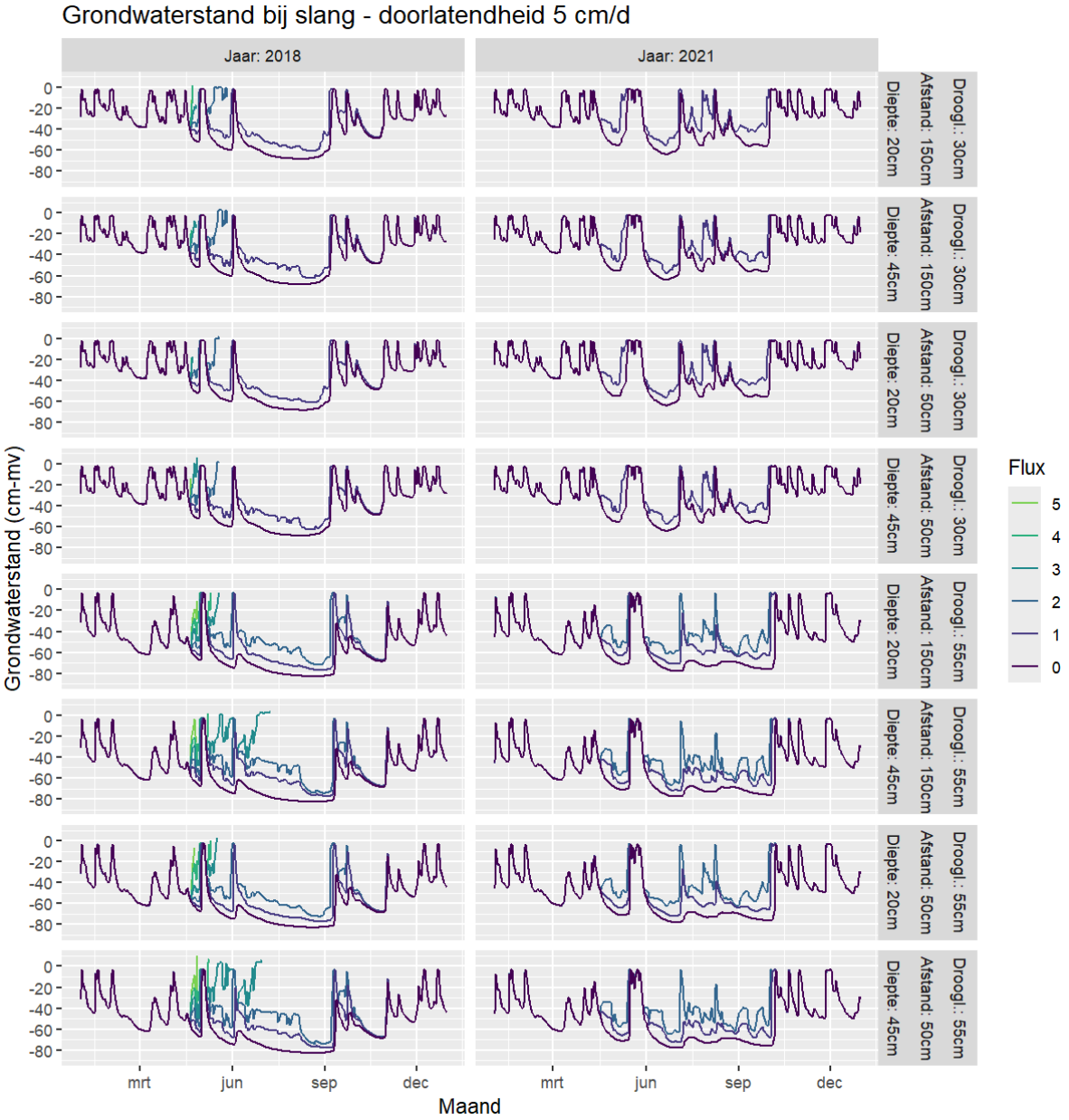
6 Literatuur

- Boonman, J., Hefting, M. M., van Huissteden, C. J. A., van den Berg, M., van Huissteden, J. (., Erkens, G., Melman, R., and van der Velde, Y.: Cutting peatland CO_2 emissions with water management practices, Biogeosciences, 19, 5707–5727, https://doi.org/10.5194/bg-19-5707-2022, 2022.SOMERS rekenregels
- Dissanayaka, S. H., Hamamoto, S., Komatsu, T., and Kawamoto, K.: Thermal Properties for Peaty Soil Under Variable Saturation and Their Correlation to Mass Transport Parameters in Gaseous and Aqueous Phases, Res. Rep. Dep. Civ. Environ. Eng. Saitama Univ., 39, 21–32, 2013.
- NOBV jaarrapport 2024, SOMERS 2.0 – Technische beschrijving, R. Melman, S. Jansen, L. Nougues, J. Reusen, G. Erkens, https://www.nobveenweiden.nl/wp-content/uploads/2024/11/rapportage-SOMERS-2.0-technische-beschrijving.pdf
- Liu, H., Janssen, M., and Lennartz, B.: Changes in flow and transport patterns in fen peat following soil degradation, Eur. J. Soil Sci., 67, 763–772, https://doi.org/10.1111/ejss.12380, 2016.
- STOWA 2018-48, 'Waterwijzer landbouw: instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie', ISBN 978.90.5773.812.8

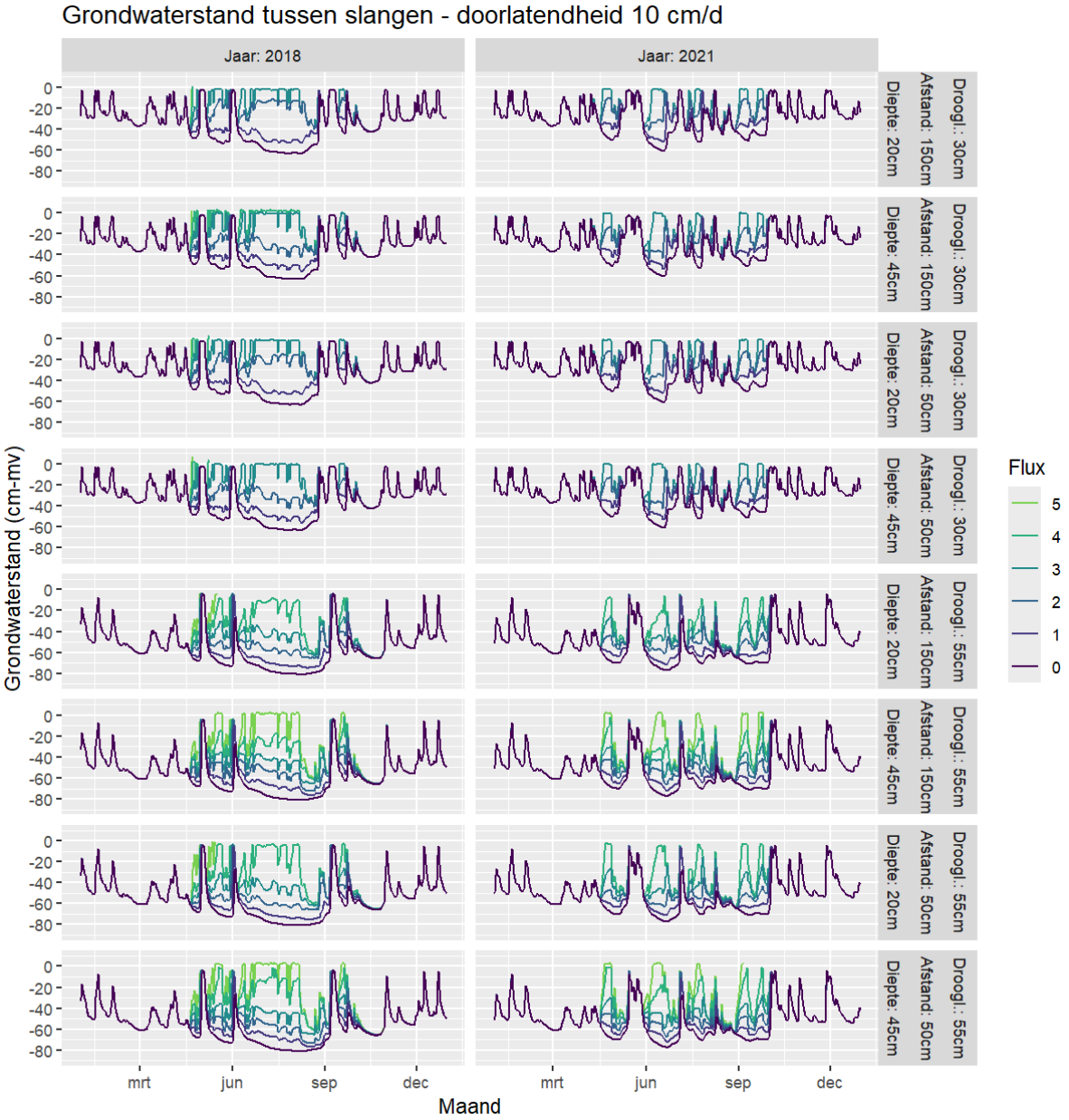
7 Bijlagen



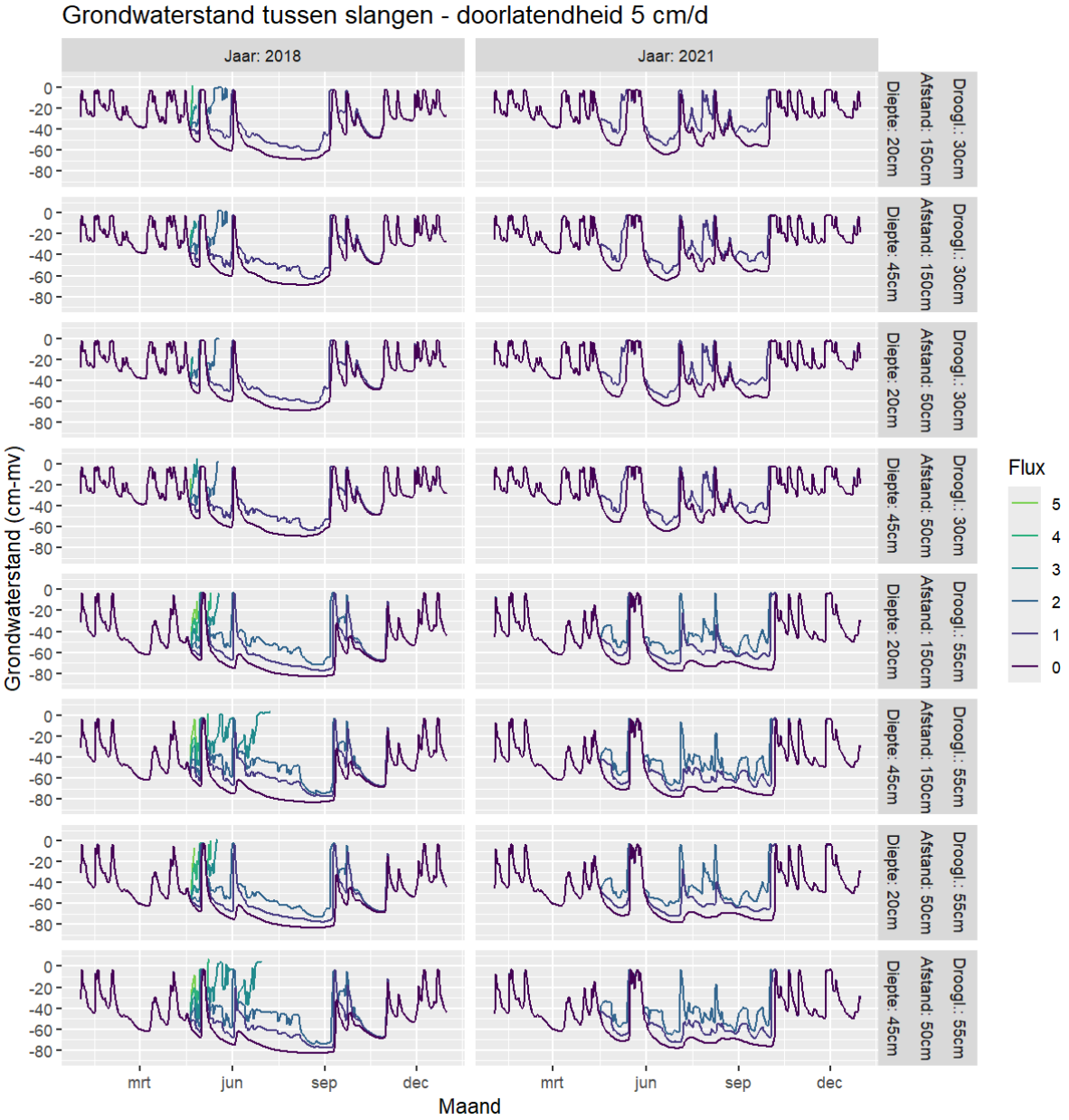
Figuur 18 Tijdreeksen van gemiddelde grondwaterstanden over de gehele modelbreedte bij een doorlatendheid van het veraarde veen van 5 cm/d.



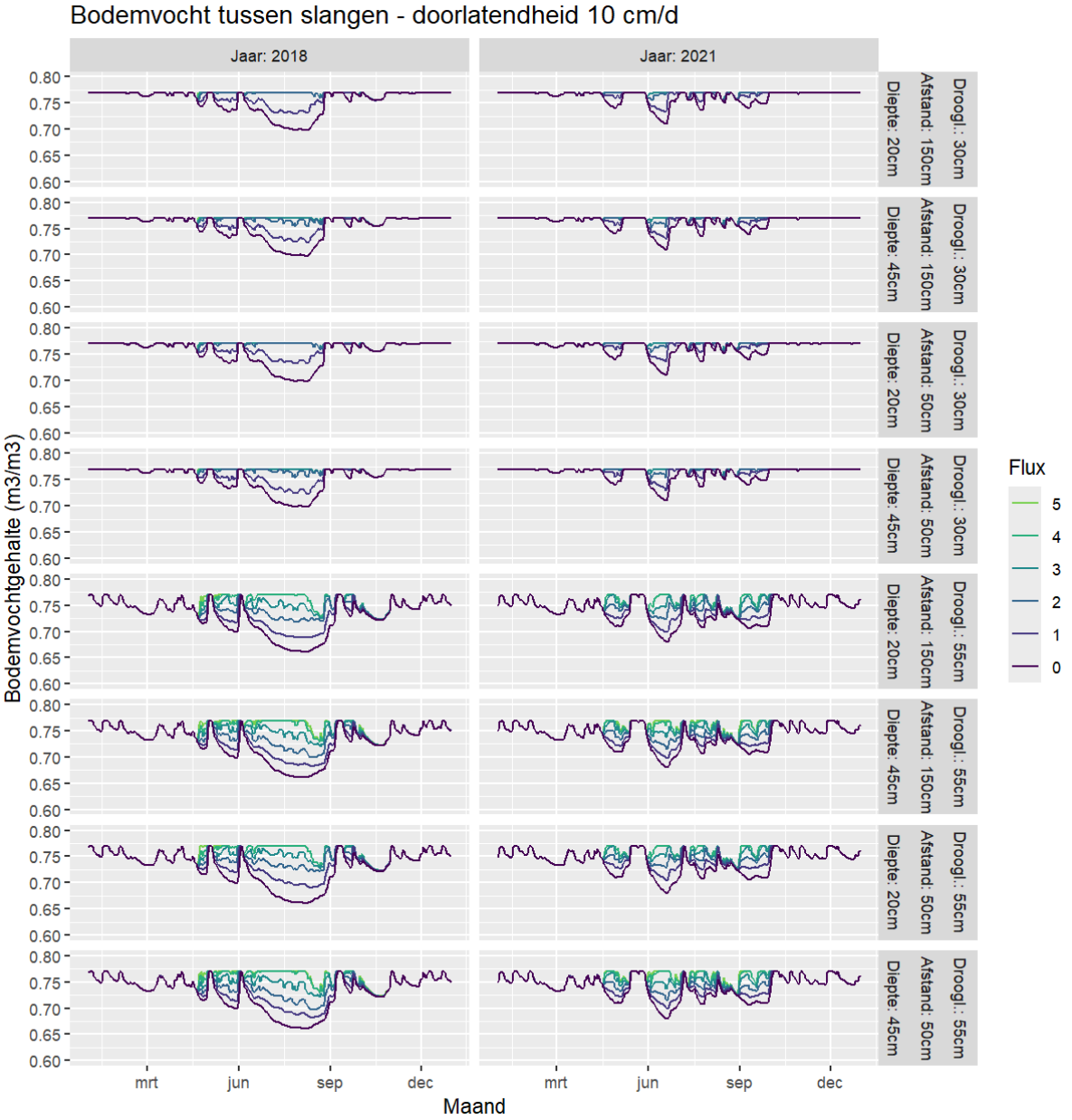
Figuur 19 Tijdreeksen van grondwaterstanden ter hoogte van de slang bij een doorlatendheid van 5 cm/d.



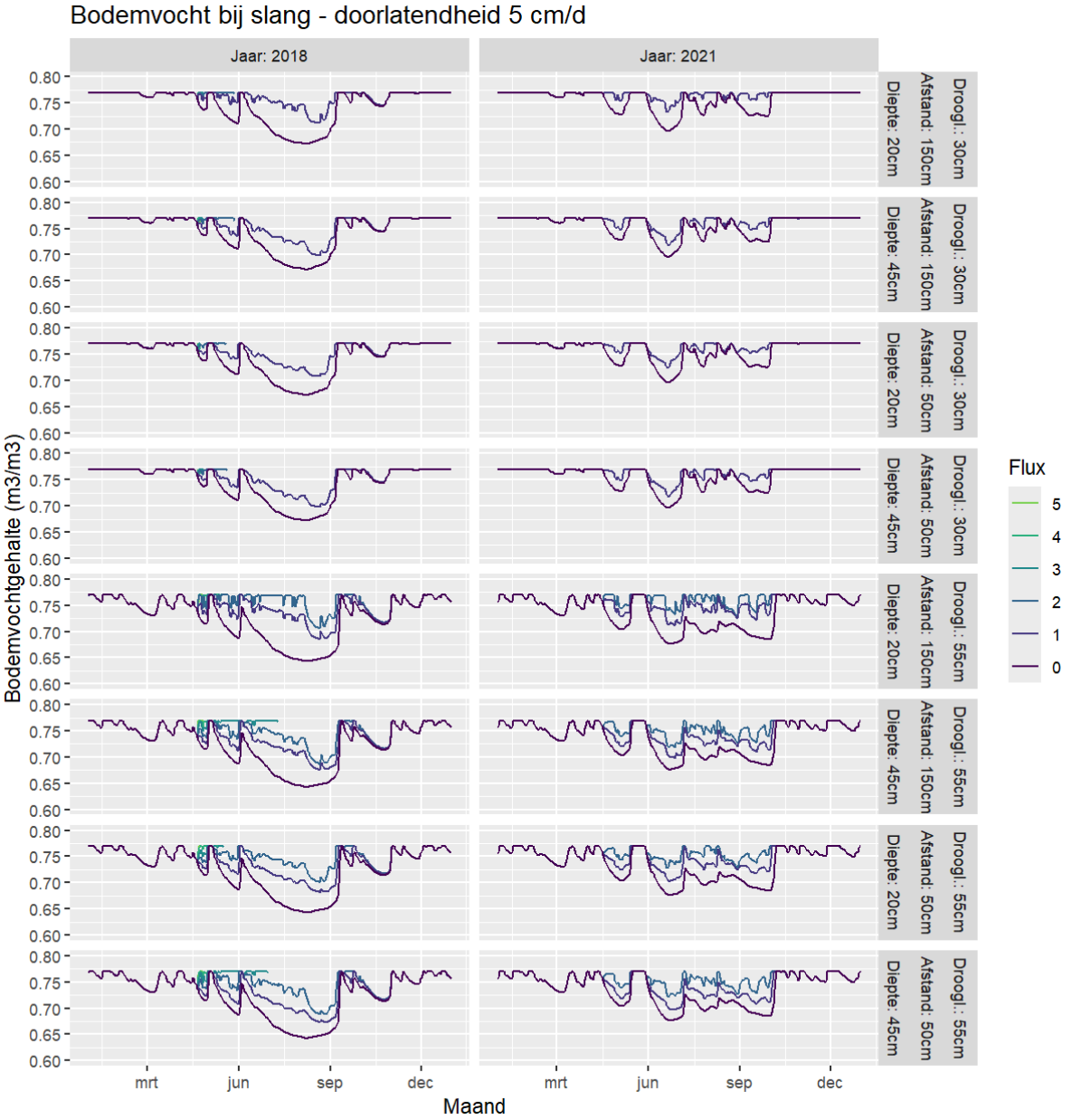
Figuur 20 Tijdreeksen van grondwaterstanden tussen de slangen bij een doorlatendheid van 10 cm/d.



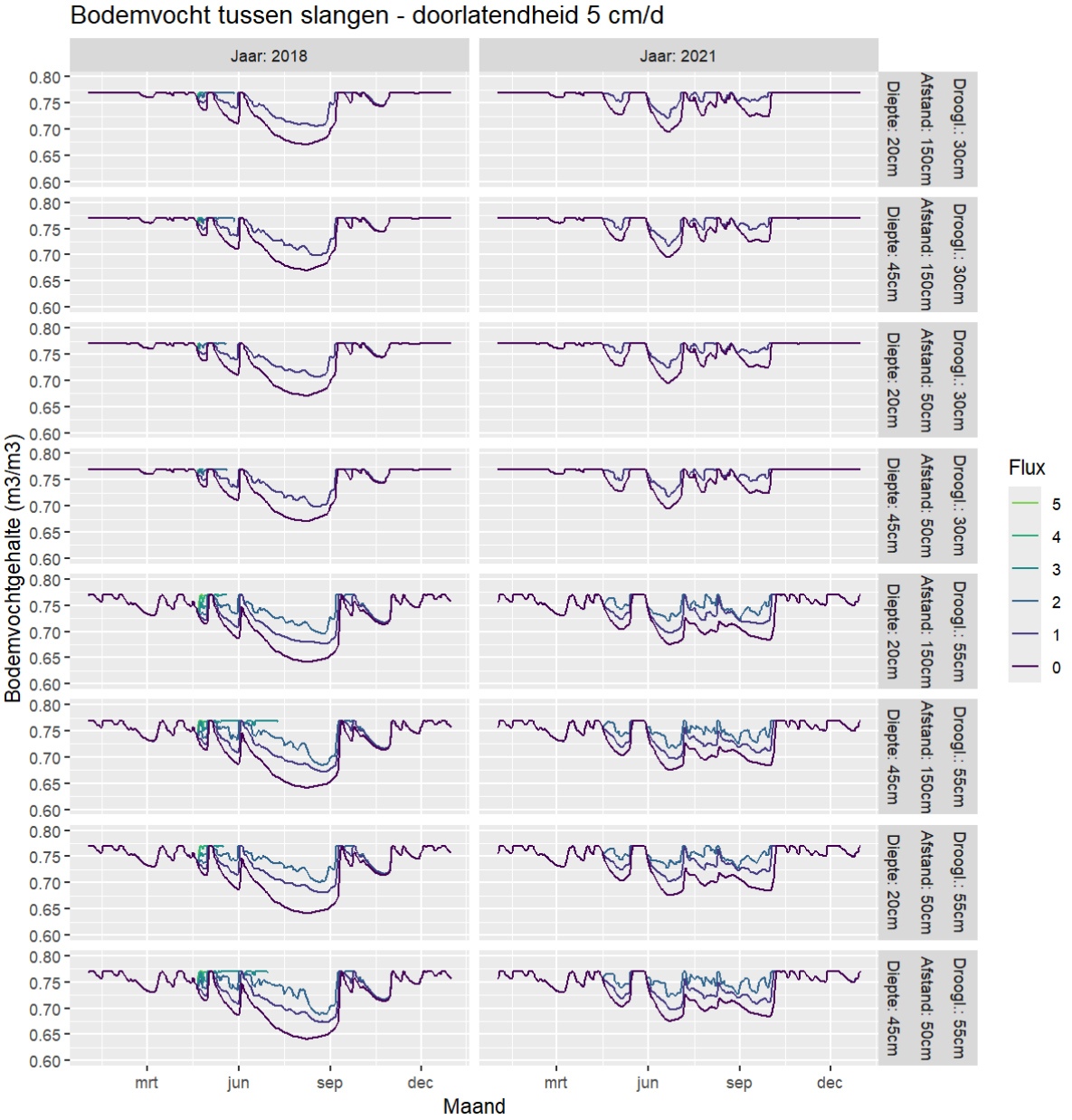
Figuur 21 Tijdreeksen van grondwaterstanden tussen de slangen bij een doorlatendheid van 5 cm/d.



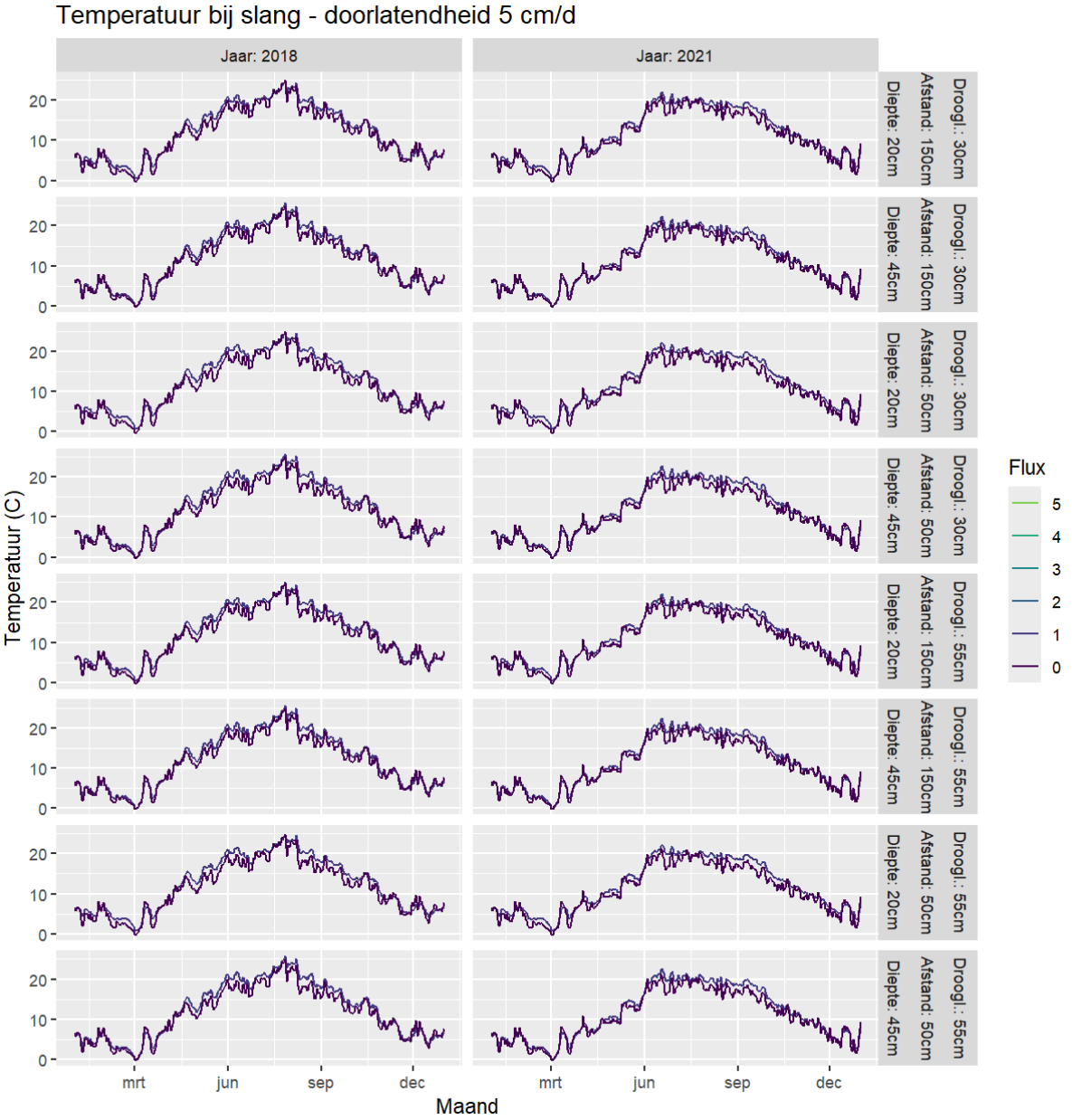
Figuur 22 Tijdreeksen van bodemvocht midden tussen de slangen in de modelscenario's met een doorlatendheid van het veraarde veen van 10 cm/d.



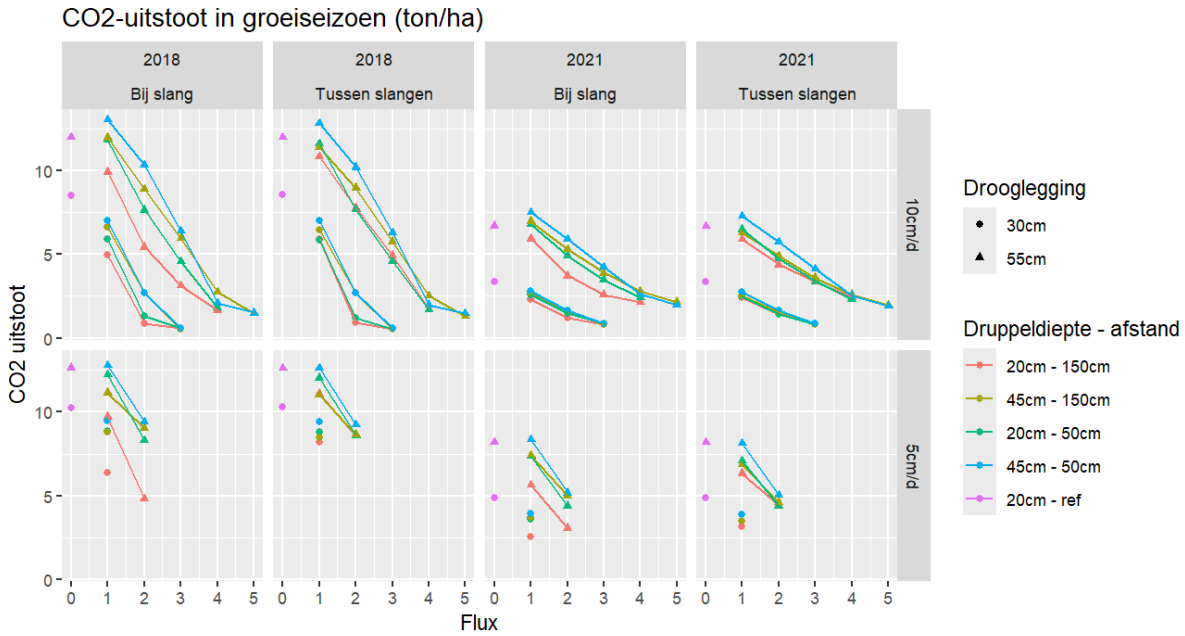
Figuur 23 Tijdreeksen van bodemvocht ter hoogte van de slangen in de modelscenario's met een doorlatendheid van het veraarde veen van 5 cm/d.



Figuur 24 Tijdreeksen van bodemvocht midden tussen de slangen in de modelscenario's met een doorlatendheid van het veraarde veen van 5 cm/d.



Figuur 25 Tijdreeksen van temperatuur ter hoogte van de slangen in de modelscenario's met een doorlatendheid van het veraarde veen van 5 cm/d.



Figuur 26 Vergelijking tussen CO_2-uitstoot in het groeiseizoen tussen de verschillende modelscenario's

Hoofdkantoor

Van Hogendorpplein 4
2805 BM Gouda

Regiokantoor
Oost-Afrika

Woreda 03, Bole Sub city
House No. 4/020
Addis Abeba

www.acaciawater.com

ACACIA WATER