

Effecten waterinfiltratie op afvoer, Spengen en Lange Weide

Review, verbetering en toepassing SWAP-model bij drukdrainage en onderwaterdrainage

Pim Dik



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Effecten waterinfiltratie op afvoer, Spengen en Lange Weide

Review, verbetering en toepassing SWAP-model bij drukdrainage en onderwaterdrainage

Pim Dik

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (projectnummer 5200047616).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, november 2022

Gereviewd door:
Joost Cruijsen, onderzoeker (Wageningen Environmental Research)

Akkoord voor publicatie:
Mirjam Hack, teamleider van Bodem, water en landschap

Rapport 3213
ISSN 1566-7197

P.E. Dik, 2022. *Effecten waterinfiltratie op afvoer, Spengen en Lange Weide. Review, verbetering en toepassing SWAP-model bij drukdrainage en onderwaterdrainage*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3213. 46 blz.; 33 fig.; 9 tab.; 6 ref.

Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR) is een voorloper op het gebied van aanleggen van onderwaterdrainage/infiltratie om bodemdaling in veenweidegebieden te remmen. Dit gebeurt in de vorm van pilotprojecten waarin op relatief grote schaal onderwaterdrainage/infiltratie wordt aangelegd. Om de effecten op waterbeheer inzichtelijk te maken, is het nodig meer kennis en inzicht te krijgen in de verandering door onderwaterdrainage/infiltratie van de afvoer van water vanuit het perceel richting de sloot. De hypothese is namelijk dat, naast wateraanvoer, onderwaterdrainage/infiltratie ook zorgt voor een versnelde afvoer richting de sloot. HDSR ziet dit graag verder onderbouwd en gekwantificeerd voor hun beheergebied.

Trefwoorden: afvoer, drukdrainage, onderwaterdrainage, veen, macroporiën, SWAP

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/580933> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

CC-BY-NC 4.0 licentie

© 2022 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.

In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3213 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Aanleg waterinfiltratiesysteem (foto HDSR)

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Algemeen	11
1.2 Doelstelling	11
1.3 Uitwerking onderzoeksvraag	11
2 Kenschets gebied en SWAP-model	12
2.1 Gebiedskenmerken	12
2.1.1 Ligging en landgebruik	12
2.1.2 Bodemopbouw	13
2.1.3 Oppervlaktewater en kwel/wegzijging	14
2.2 SWAP-model	14
2.2.1 Model-parametrisatie	14
2.2.2 Modelresultaten	15
2.2.3 Modelgeschiktheid voor uitvoeren scenarioberekeningen extreme neerslagevents	19
3 Simulatie piekafvoer	20
3.1 Algemeen	20
3.2 Invoer	20
3.3 Resultaten	20
4 Conclusies en aanbevelingen	25
4.1 Conclusies	25
4.2 Aanbevelingen	26
Literatuur	27
Bijlage 1 Review, modelverbetering en resultaten	28

Verantwoording

Rapport: 3213

Projectnummer: 5200047616

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: onderzoeker

naam: Joost Cruijsen

datum: 28-10-2022

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Mirjam Hack

datum: 31-10-2022

Woord vooraf

Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR) is een voorloper op het gebied van aanleggen van onderwaterdrainage/infiltratie om bodemdaling in veenweidegebieden te remmen. Dit gebeurt in de vorm van pilotprojecten waarin op relatief grote schaal onderwaterdrainage/infiltratie wordt aangelegd. Om de effecten op waterbeheer inzichtelijk te maken, is het nodig meer kennis en inzicht te krijgen in de verandering door onderwaterdrainage/infiltratie van de afvoer van water vanuit het perceel richting de sloot. De hypothese is namelijk dat, naast wateraanvoer, onderwaterdrainage/infiltratie ook zorgt voor een versnelde afvoer richting de sloot. HDSR ziet dit graag verder onderbouwd en gekwantificeerd voor hun beheergebied.

Luuk Reudink heeft in 2021 als stagiair gedurende zijn verblijf van vijf maanden bij Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden een onderzoek gedaan naar de effecten van drukdrainage en onderwaterdrainage op de hoeveelheid inlaatwater. Hiervoor heeft hij het SWAP-instrumentarium gebruikt. De aandacht ging daarbij uit naar de hoeveelheid inlaatwater en de toename daarvan bij gebruik van drukdrainage en onderwaterdrainage. Dit onderzoek vormt de basis voor een aanvullend onderzoek naar de effecten van drukdrainage en onderwaterdrainage op de afvoeren tijdens piekbuien.

Samenvatting

Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR) is een voorloper op het gebied van aanleggen van onderwaterdrainage/infiltratie om bodemdaling in veenweidegebieden te remmen. Dit gebeurt in de vorm van pilotprojecten waarin op relatief grote schaal onderwaterdrainage/infiltratie wordt aangelegd. Met dit waterinfiltratiesysteem (WIS) wordt in droge perioden de grondwaterstand aangevuld. Dit WIS bestaat uit een systeem van buisdrains waarmee water in de bodem geïnfiltreerd kan worden. Bij de proeven is er een referentieperceel ingericht en een perceel met een WIS. Om de effecten op waterbeheer inzichtelijk te maken, is het nodig meer kennis en inzicht te krijgen in het effect van een WIS op de afvoer van water vanuit het perceel richting de sloot. De hypothese is namelijk dat, naast wateraanvoer, onderwaterdrainage/infiltratie ook zorgt voor een versnelde afvoer richting de sloot bij extreme neerslaggebeurtenissen. HDSR ziet dit graag verder onderbouwd en gekwantificeerd voor hun beheergebied.

HDSR heeft WENR gevraagd onderstaande onderzoeksvraag te beantwoorden:

Wat is het effect van drukdrainage of onderwaterdrainage op de verschillende afvoercomponenten in een typisch veenweideperceel?

De verschillende componenten van de afvoer naar het oppervlaktewater betreffen 1) ontwatering door de sloten, 2) afvoer over maaiveld (run-off) en 3) ontwatering door buisdrainage.

Aanpak

In 2021 heeft een stagiair in opdracht van HDSR met behulp van een SWAP-modellering berekend wat het effect van (druk)onderwaterdrainage/infiltratie op de watervraag is in polder Spengen en polder Lange Weide. Deze SWAP-modellen zijn gevalideerd met diverse metingen die in het kader van de pilotprojecten in de genoemde polders worden gedaan. In polder Spengen ligt een drukdrainsysteem, waar wordt gemeten aan de grondwaterstand, het peil in het drukreservoir en de hoeveelheid water die wordt in- en uitgepompt uit het drukreservoir. In polder Lange Weide ligt een onderwaterdrainage/infiltratiesysteem waar wordt gemeten aan de grondwaterstand. Voor al de proeflocaties geldt dat er een referentieperceel (zonder WIS) en een perceel met WIS is bemeaten. Deze studie is als basis voor dit onderzoek gebruikt, waarbij de simulatieperiode is verlengd en ook langere meetreeksen met grondwaterstanden zijn gebruikt bij de kalibratie.

De focus van het onderzoek verschuift van het bepalen van de wateraanvoer naar het effect van onderwaterdrainage op de afvoercomponenten. Extra aandacht is daarom besteed aan de onderdelen in het model die deze afvoercomponenten bepalen. Dat betekent aandacht voor run-off en de fluxen via buisdrainage en ontwatering via greppels en waterlopen. Ook is in de modellen gerekend met macroporiën, omdat dit bij een neerslagevent voor een versnelde afvoer richting het oppervlaktewater kan zorgen.

Modellering

Het bodemwatersysteem is gekalibreerd met behulp van de grondwaterstanden; deze konden goed gesimuleerd worden.

Effecten afvoer

Voor alle drie locaties zijn vier events doorgerekend van 92 mm in vier dagen (herhalingstijd bui tien jaar, met 8, 44, 34 en 6 mm op vier achtereenvolgende dagen). De effecten op de belasting van het oppervlaktewater zijn berekend voor een situatie zonder en een situatie met een drukdrainage of onderwaterdrainage (waterinfiltratiesysteem, WIS). Bij de simulaties is aangenomen dat het oppervlaktewaterpeil niet is beïnvloed door de extra aanvoer.

Verskillende conclusies zijn op basis van de simulaties te trekken:

- **Initiële situatie droog of nat**

Uit de simulaties blijkt duidelijk een verschil in belasting van het oppervlaktewater bij een drogere of nattere startsituatie. Een drogere situatie heeft betrekking op de berging die in de bodem aanwezig is. Deze is afhankelijk van het vochtgehalteprofiel van de bodem. Uit de simulaties blijkt dat de events met de droge startsituaties (2018 en 2019) aanzienlijk minder belasting geven dan de natte startsituaties (events van 2020 en 2021).

- **Wel of geen WIS**

Een WIS heeft invloed op de startsituatie, namelijk op de beschikbare berging in de bodem bij aanvang van een event. Een WIS heeft in droge perioden een vernattend effect in de bodem. Maar in nattere perioden heeft het door de drainage juist een verdrogend effect. Hierdoor kan een WIS voor drogere perioden leiden tot meer afvoer in vergelijking met de situatie zonder WIS, maar voor nattere perioden juist tot minder afvoer.

- **Een tweede effect van een WIS is dat de buisdrainage ook water versneld afvoert. Dit leidt bij natte startsituaties tot minder run-off in vergelijking met een situatie zonder WIS. In droge startsituaties is het effect van een WIS op de startsituatie dominant en nemen alle deelstromen richting oppervlaktewater toe.**

- **Tijdseffecten**

Uit de simulaties volgt dat voor de droge startsituatie de afvoer in 2 en 7 dagen aanzienlijk toeneemt. Voor de natte startsituaties is een afname in afvoer berekend voor de eerste 2 dagen, maar wel een toename over 7 dagen (Tabel 1).

Tabel 1 Afvoer zonder en met WIS en toename afvoer door WIS (in mm over het aantal dagen na start neerslaggebeurtenis). Startsituatie Droog betreft gemiddelde van events van 2018 en 2019, startsituatie Nat betreft gemiddelde events van 2020 en 2021.

Dagen na start event	Referentie afvoer in mm		WIS afvoer in mm		Toename afvoer in mm	
	Startsituatie		Startsituatie		Startsituatie	
	Droog	Nat	Droog	Nat	Droog	Nat
1	0	2	0	3	0	1
2	0	34	11	31	11	-3
3	2	65	43	68	41	3
7	7	75	74	95	67	20

Geconcludeerd wordt dat bij onderwaterdrainage/drukdrainage inderdaad de belasting van het oppervlaktewater toeneemt bij relatief veel neerslag in vergelijking met een situatie zonder druk/onderwaterdrainage, al kan er in het geval van een natte startsituatie wel een vertraging in zitten. Heel bepalend voor de effecten is de startsituatie (de beschikbare berging in de bodem bij aanvang van de bui).

Advies gebruik modellen bij opschaling

De effecten voor de belasting van het oppervlaktewater werken door in de waterstanden die in het oppervlaktewater zullen optreden. Zoals hierboven is beschreven, is geen rekening gehouden met deze verhoogde oppervlaktewaterstanden, waardoor ook de afvoer van veld richting oppervlaktewater gestremd kan worden. Dit zou dan betekenen dat de percelen minder goed hun water kwijt kunnen en dus meer water in de bodem van of op maaiveld op het perceel wordt geborgen. Hier dient bij het doorwerken van de extra belasting rekening mee gehouden te worden.

Het grote verhaal is natuurlijk dat door een WIS gedurende droge perioden water in de bodem wordt geïnfiltreerd, waardoor de beschikbare bergingscapaciteit voor neerslagevents afneemt en dus de gevoeligheid voor extremere waterstanden in het oppervlaktewatersysteem toeneemt. Het betreft dus een optimalisatievraagstuk: in hoeverre worden droogte en veenoxidatie tegengegaan, terwijl tijdelijk hogere oppervlaktewaterstanden worden geaccepteerd.

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR) is een voorloper op het gebied van aanleggen van onderwaterdrainage/infiltratie om bodemdaling in veenweidegebieden te remmen. Dit gebeurt in de vorm van pilotprojecten waarin op relatief grote schaal onderwaterdrainage/infiltratie wordt aangelegd. Om de effecten op waterbeheer inzichtelijk te maken, is het nodig meer kennis en inzicht te krijgen in de verandering door onderwaterdrainage/infiltratie van de afvoer van water vanuit het perceel richting de sloot. De hypothese is namelijk dat, naast wateraanvoer, onderwaterdrainage/infiltratie ook zorgt voor een versnelde afvoer richting de sloot. HDSR ziet dit graag verder onderbouwd en gekwantificeerd voor hun beheergebied.

1.2 Doelstelling

HDSR heeft WENR gevraagd onderstaande onderzoeksvraag te beantwoorden:

Wat is het effect van drukdrainage of onderwaterdrainage op de verschillende afvoercomponenten in een typisch veenweideperceel?

1.3 Uitwerking onderzoeksvraag

In 2021 heeft een stagiair in opdracht van HDSR met behulp van een SWAP-modellering berekend wat het effect van (druk)onderwaterdrainage/infiltratie op de watervraag is in polder Spengen (twee proefpercelen) en polder Lange Weide (één proefperceel). Deze drie SWAP-modellen zijn gevalideerd met diverse metingen die in het kader van de twee pilotprojecten in de genoemde polders worden uitgevoerd. In polder Spengen ligt een drukdrainsysteem, waar wordt gemeten aan de grondwaterstand, het peil in het drukreservoir en de hoeveelheid water die wordt in- en uitgepompt uit het drukreservoir. In polder Lange Weide ligt een onderwaterdrainage/infiltratiesysteem waar wordt gemeten aan de grondwaterstand. Deze studie is als basis voor dit onderzoek gebruikt.

De focus van het onderzoek verschuift van het bepalen van de wateraanvoer naar het effect van onderwaterdrainage op de afvoercomponenten. Extra aandacht wordt daarom besteed aan de onderdelen in het model die deze afvoercomponenten bepalen. Dat betekent aandacht voor run-off en de fluxen via buisdrainage en ontwatering via greppels en waterlopen.

In dit rapport komen achtereenvolgens aan bod:

- Beschrijving van het gebied en opstellen van perceelmodellen (hoofdstuk 2)
- Effectbepaling extreme neerslaggebeurtenissen (hoofdstuk 3)
- Conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 4)
- Review modellen Spengen en Lange Weide (zie Bijlage 1)
- Verbetering modellen (zie Bijlage 1)

2 Kenschets gebied en SWAP-model

2.1 Gebiedskenmerken

2.1.1 Ligging en landgebruik

Polder Spengen ligt 15 km ten noordwesten van Utrecht. De polder is voornamelijk in gebruik voor de melkveehouderij. De onderzoekspercelen zijn in gebruik als grasland. De percelen liggen in het gebied van het hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR, Figuur 2.1). De coördinaten van de percelen zijn in Tabel 2.1 gegeven. De polder Lange Weide ligt net ten oosten van Gouda tussen de waterlopen Enkele Wiericke en Dubbele Wiericke.

Tabel 2.1 Coördinaten locaties.

Locatie	Lat	Long
Spengen-Oost	52.160	4.933
Spengen-West	52.150	4.918
Lange weide	52.042	4.793



Figuur 2.1 Ligging locaties (boven: Lange Weide, onder: Spengen-West en Spengen-Oost).

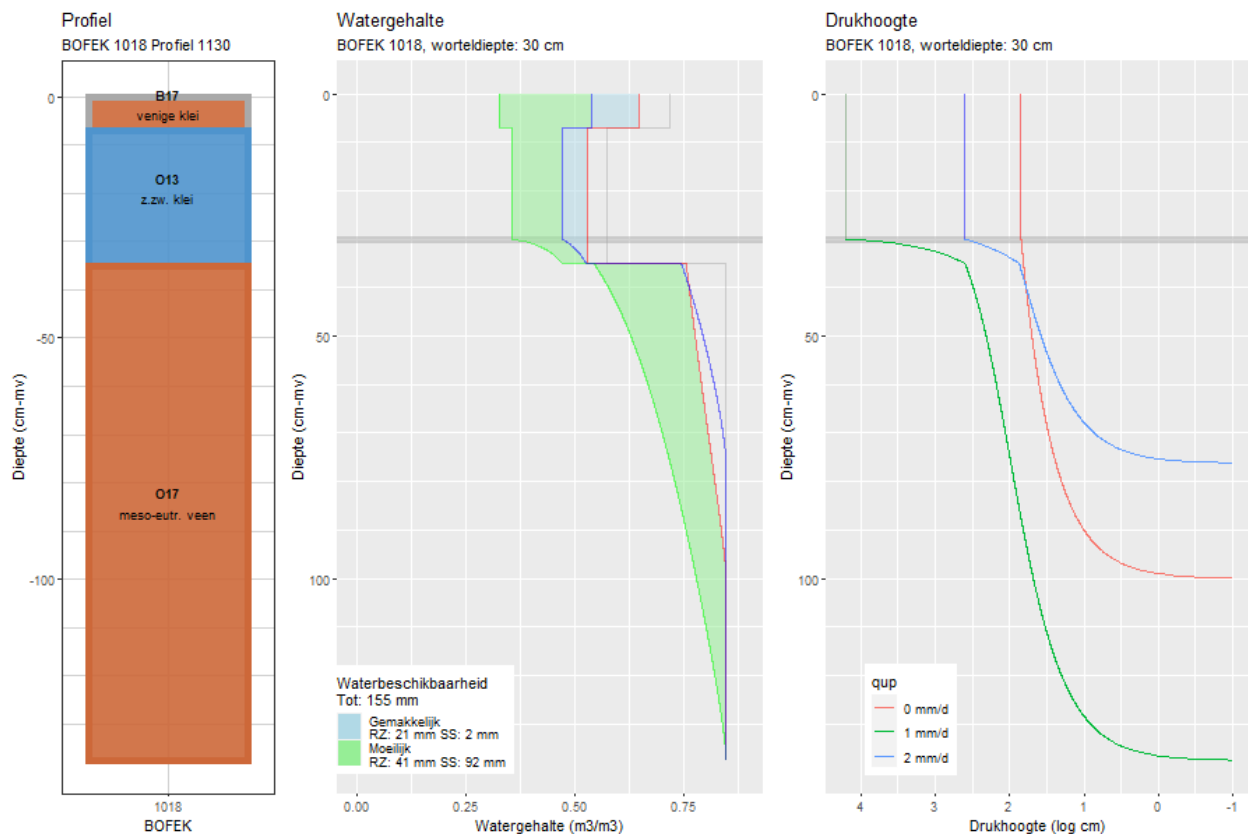
2.1.2 Bodemopbouw

De bodem in de polder Spengen bestaat voornamelijk uit veen met een dikte van 5 tot 6 m. Kreeken hebben lokaal klei afgezet dat in het profiel kan worden teruggevonden. Gedurende het late Holocene heeft het Vecht-systeem een 30 tot 60 cm dikke laag afzettingen achtergelaten, bestaande uit klei en zand. Vanaf het jaar 1200 (AD) is het gebied bewoond geraakt en zijn kanalen en andere waterlopen gegraven. Dit zorgde voor ontwatering en daarmee bodemdaling. Kreekkruggen daalden minder, waardoor deze relatief hoog kwamen te liggen.

Polder Lange Weide heeft een soortgelijke ontwikkeling als polder Spengen doorgemaakt.

Een schematisch bodemprofiel is beschikbaar vanuit de BOFEK (Bodemfysische Eenhedenkaart). Dit geeft voor heel Nederland een bodemopbouw, inclusief de bodemfysische eigenschappen. In **Fout!** **Verwijzingsbron niet gevonden.** is BOFEK-profiel 1018 weergegeven. Dit profiel komt veel voor in de polders Spengen en Lange Weide. In dit figuur zijn de drukhoogten en vochtgehalten weergegeven voor een

aantal standaardsituaties. Dit geeft een eerste indruk van hoe het bodemvocht reageert bij verschillende randvoorwaarden.



Figuur 2.2 Voorbeeldprofiel BOFEK-1018 (klei op veen).

2.1.3 Oppervlaktewater en kwel/wegzijing

Polder Spengen bestaat voor circa 10% uit oppervlaktewater. Het oppervlaktewaterpeil bedraagt circa 40 cm beneden maaiveld. De stijghoogte in het watervoerend pakket is circa 80 cm lager dan de gemiddelde grondwaterstand. Er is dus sprake van wegzijing van grondwater naar de diepere ondergrond.

Polder Lange Weide bestaat ook voor circa 10% uit oppervlaktewater met een oppervlaktewaterpeil circa 40 cm beneden maaiveld. De stijghoogte in het watervoerend pakket is hier circa 20-50 cm lager dan het maaiveld, resulterend in afwisselend wegzijing en kwel.

2.2 SWAP-model

In deze paragraaf zijn de verschillende deelmodellen beschreven: het betreft de parameters op basis van de beschikbare kennis, de kalibratie op basis van de gemeten grondwaterstanden en een vaststelling van de modelgeschiktheid voor het uitvoeren van scenarioberekeningen.

2.2.1 Model-parametrisatie

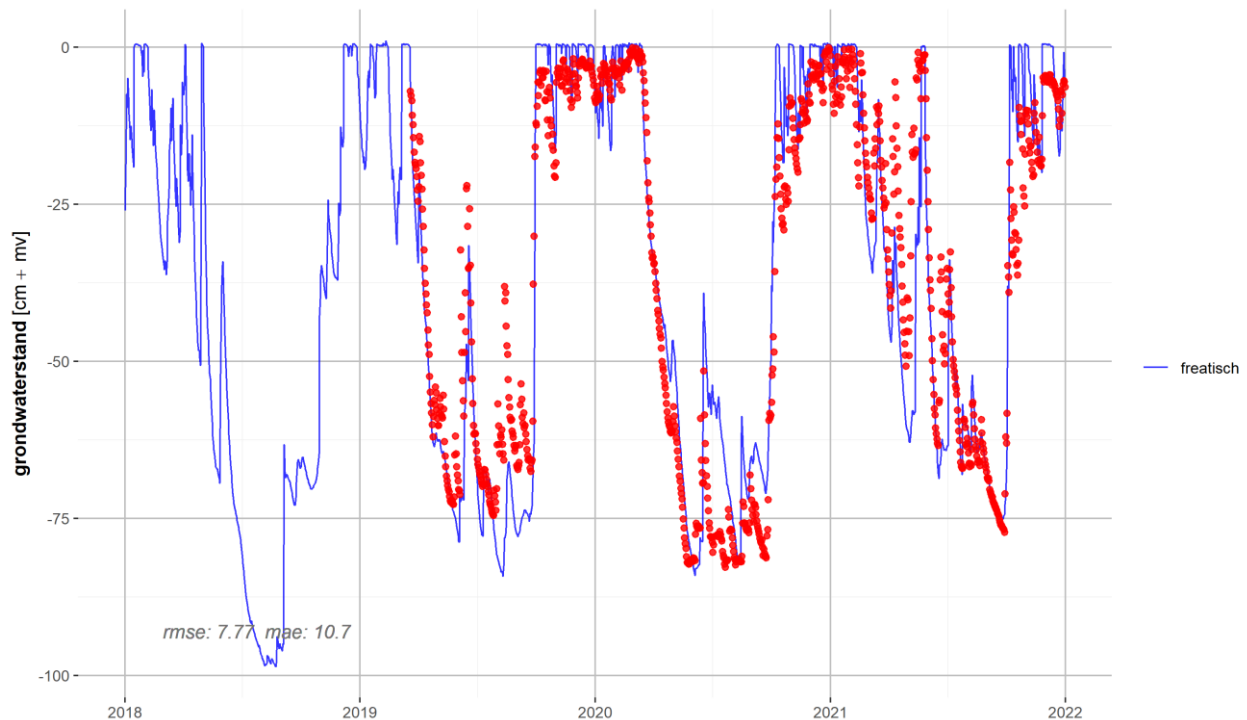
Dit onderzoek is een aanscherping van het onderzoek van Luuk Reudink. Hierbij heeft een modelcontrole en modelverbetering plaatsgevonden. In Bijlage 1 is dit beschreven. De belangrijkste aanpassingen zijn de volgende:

- De drainage- en infiltratieweerstand voor de buisdrainage hebben waarden van 45 tot 80 dagen gekregen.
- De macroporiën zijn zo geparametriseerd dat ook daadwerkelijk krimp en zwel op kunnen treden en dat door de macroporiën ook preferente stroming ontstaat.

2.2.2 Modelresultaten

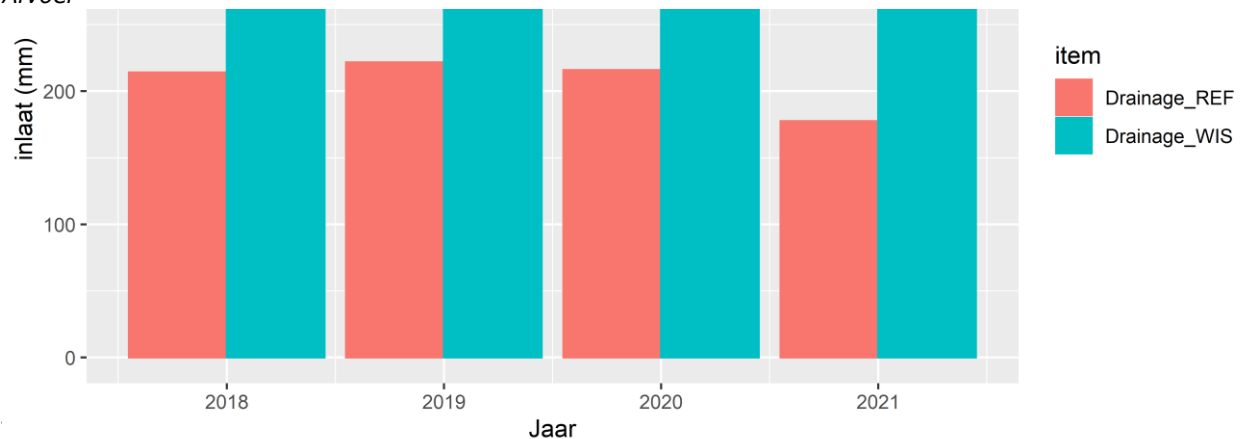
Grondwaterstanden

De gemeten grondwaterstanden zijn gebruikt bij de kalibratie. In Bijlage 1 zijn de figuren voor de zes varianten (drie locaties met en zonder WIS) weergegeven. Hieruit blijkt dat de grondwaterstanden goed gesimuleerd kunnen worden. Als voorbeeld is de referentiesituatie te Langeweide gegeven (Figuur 2.3). De figuren voor de andere locaties zijn opgenomen in Bijlage 1.



Figuur 2.3 Simulatie (blauw) en meting (rood) grondwaterstand locatie Lange Weide (referentiesituatie).

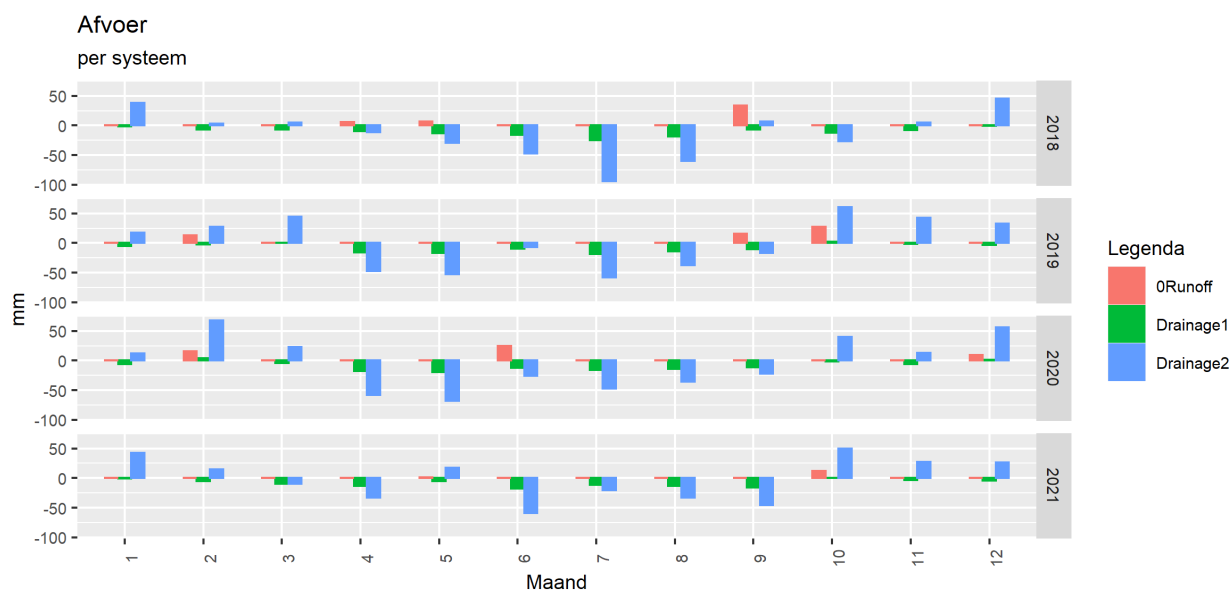
Afvoer



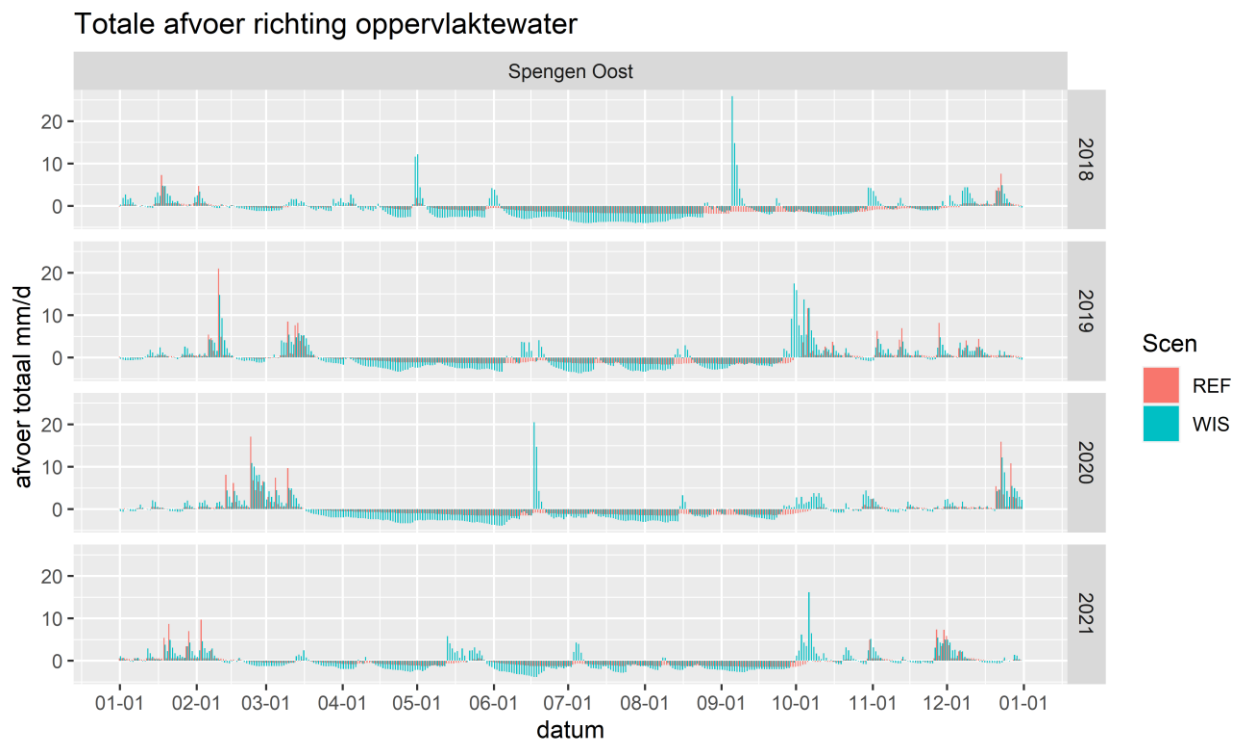
. Hierin is te zien dat bij de grotere neerslaggebeurtenissen in de zomer bij een WIS de afvoer naar het oppervlaktewater (veel) groter is, terwijl in de winter bij een WIS juist minder hoge pieken op (kunnen) treden.



Figuur 2.4 Drainage en run-off per maand in de referentiesituatie voor locatie Spengen-Oost (drainage1: sloten).



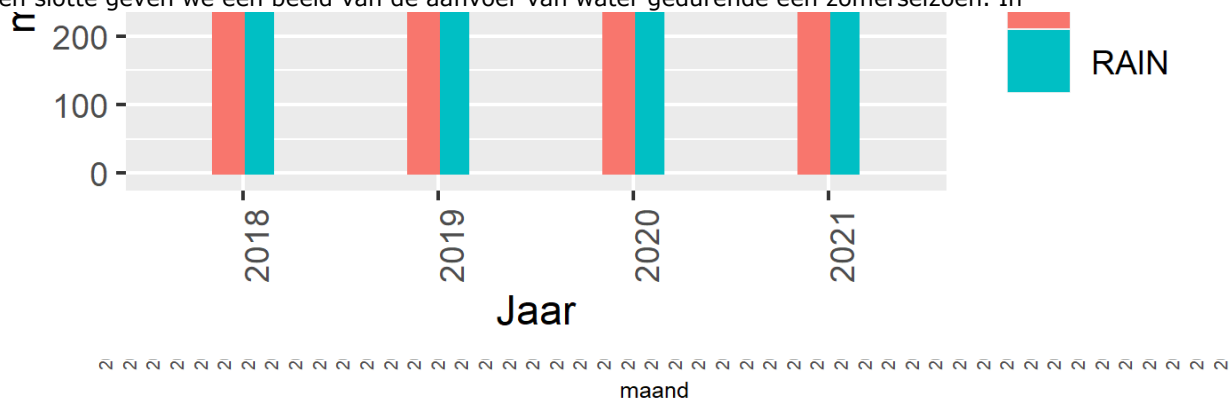
Figuur 2.5 Drainage en run-off per maand in de situatie met drukdrains voor locatie Spengen-Oost (drainage1: sloten, drainage2: buisdrains).



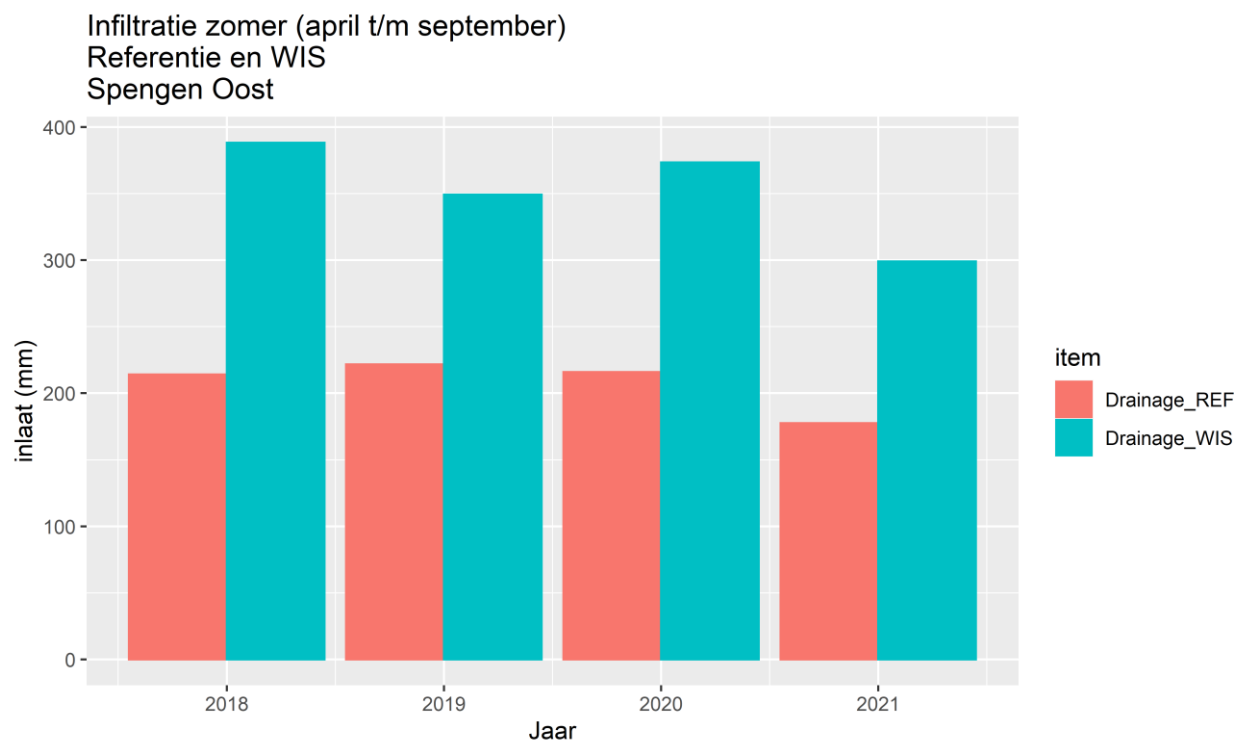
Figuur 2.6 Afvoer naar oppervlaktewater (drainage en run-off) per dag in de situaties zonder en met drukdrains voor locatie Spengen-Oost.

Aanvoer

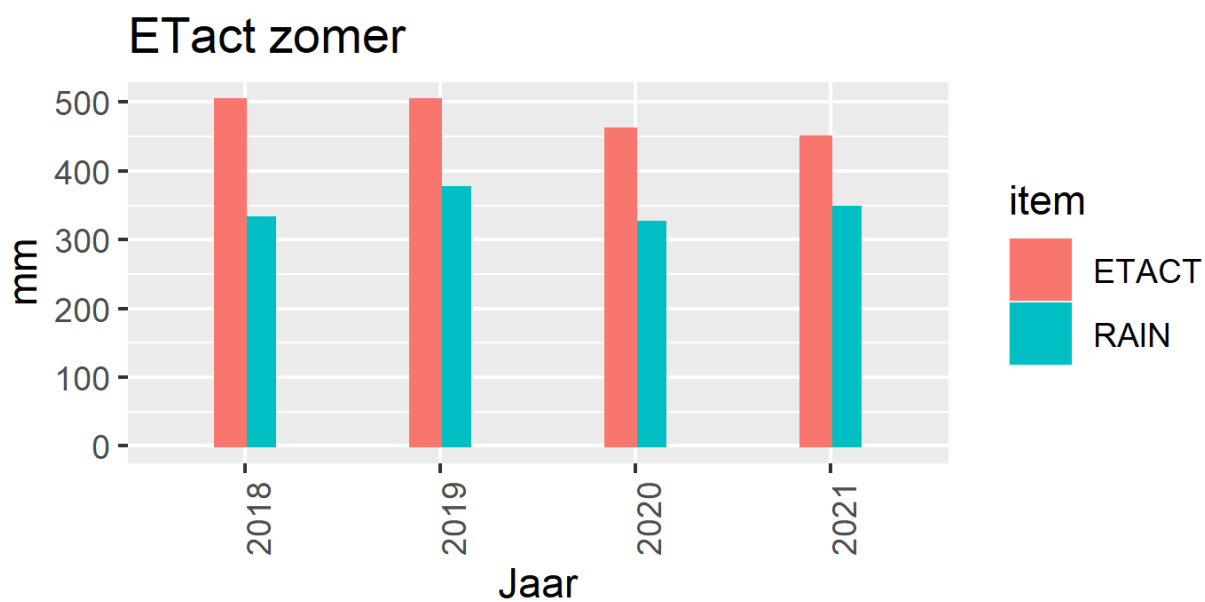
Ten slotte geven we een beeld van de aanvoer van water gedurende een zomerseizoen. In



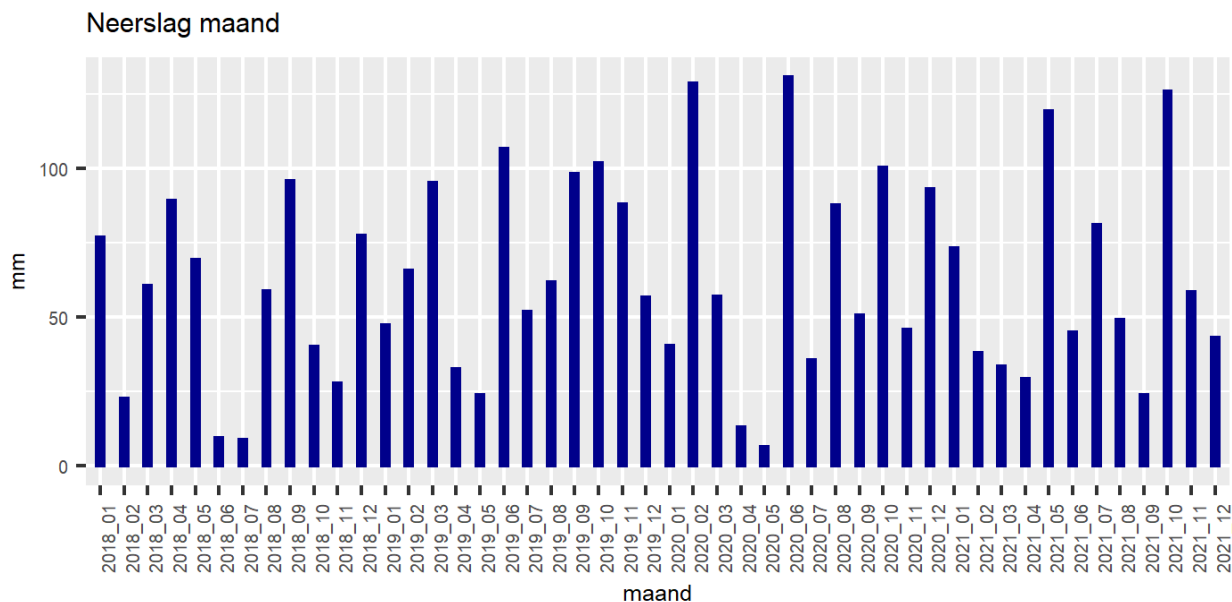
Figuur 2.9). Wel is er een verschil in de actuele verdamping, waarbij de jaren 2018 en 2019 circa 50 mm meer verdamping laten zien dan de jaren 2020 en 2021.



Figuur 2.7 Infiltratie per jaar voor de zomerperiode in de referentie en de situatie met drukdrains voor locatie Spengen-Oost.



Figuur 2.8 Zomerneerslag april-september (blauw) en actuele verdamping voor locatie Lange Weide (rood) (station Cabauw).



Figuur 2.9 Maandneerslagen (weerstation Cabauw).

2.2.3 Modelgeschiktheid voor uitvoeren scenarioberekeningen extreme neerslagevents

De modelgeschiktheid is bepaald op basis van het doel van dit onderzoek. Dit betekent dat er aandacht is besteed aan de simulaties van de verschillende afvoercomponenten. Immers, het doel van deze studie is het effect te bepalen van de onderwaterdrainage op de afvoer tijdens een extreem neerslagevent.

Als eerste dient het model vergeleken te worden met de meetgegevens. Dat zijn in dit geval de grondwaterstanden. Vergelijkingen van de gemeten met de gesimuleerde grondwaterstanden toont dat deze goed te reproduceren zijn (voor de figuren zie Bijlage 1). Vervolgens is het aspect op de aanvoer in beeld gebracht, waaruit blijkt dat deze overeenkomen met eerdere analyses (Hendriks et al., 2013; Van den Akker et al., 2013). Op basis hiervan wordt het model geschikt geacht om te gebruiken voor het bepalen van het effect van onderwaterdrainage op de afvoer tijdens een extreem neerslagevent.

3 Simulatie piekafvoer

3.1 Algemeen

In het vorige hoofdstuk zijn al verschillende resultaten beschreven, waaronder het effect van drukdrainage/onderwaterdrainage op de run-off. Hierbij is geconstateerd dat door de extra waterinfiltratie bij een WIS meer run-off in de zomermaanden op kan treden. In dit hoofdstuk willen we dit verder onderzoeken. Hierbij wordt een extreme neerslaggebeurtenis doorgerekend, namelijk een T10-event.¹ De kenmerken van de T10-bui zijn opgenomen in Tabel 3.1. Deze bui is op meerdere momenten in de doorgerekende tijdreeks toegevoegd, waarna het effect op de verschillende afvoercomponenten en ook de grondwaterstanden is bepaald (in vergelijking met de referentiesituatie zonder onderwaterdrains of drukdrains). Voor de T10-bui is aangenomen dat de bui in de eerste 12 uur van een dag valt.

Tabel 3.1 Karakteristieken T10-bui.

Dag	Neerslagvolume T10 [mm]
1	8
2	44
3	34
4	6

3.2 Invoer

De neerslaggebeurtenis uit Tabel 3.1 is voor ieder van de vier jaren toegevoegd op verschillende momenten. Hierbij is gekozen voor verschillende startsituaties met betrekking tot de droogtegraad van de bodem en de diepte van de grondwaterstand om zo inzicht te krijgen in het belang van deze startsituatie voor de belasting van het oppervlaktewater. In Tabel 3.2 zijn deze dagen gegeven met daarbij een karakterisering van de grondwatersituatie op dat moment. Voor al de dagen is ervan uitgegaan dat de neerslag van dit event in de eerste 12 uur van iedere dag valt.

Tabel 3.2 Momenten met extra neerslagevent en karakterisering grondwatersituatie (referentiesituatie).

Dag	Karakterisering situatie bodemwater	grondwater
1 augustus 2018	heel weinig bodemvocht	erg lage grondwaterstand
30 juli 2019	weinig bodemvocht	gemiddelde grondwaterstand
12 oktober 2020	veel bodemvocht	hoge grondwaterstand
28 mei 2021	veel bodemvocht	middelhoge grondwaterstand

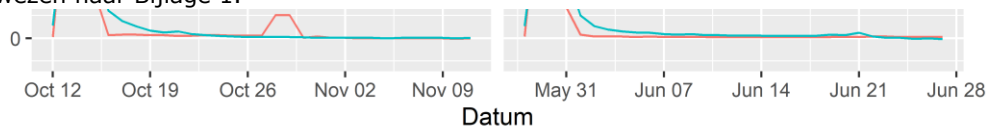
3.3 Resultaten

Om de effecten van de neerslaggebeurtenis inzichtelijk te maken, is als eerste het verschil met de situatie zonder event bepaald. Dit is gedaan voor zowel de referentiesituatie als de situatie met WIS. Daarbij is gekeken naar de grondwaterstanden, de vochtgehalten, de afvoer (run-off, buisdrainage en

¹ De doorgerekende bui heeft de kenmerken zoals beschreven in de Neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer 2019. STOWA 2019-19. Het betreft een vierdaagse T10-bui met een totaal neerslagvolume van 92 mm.

ontwateringssloten). Opgemerkt wordt dat er in de simulatie van uitgegaan is dat het oppervlaktewaterpeil niet wordt beïnvloed. In het onderstaande is met figuren de werking toegelicht.

In deze paragraaf zijn voor de leesbaarheid alleen figuren weergegeven om het inzicht in de werking van het systeem te vergroten. Voor meer figuren over de effecten op de afvoeren bij de neerslagevents wordt verwezen naar Bijlage 1.



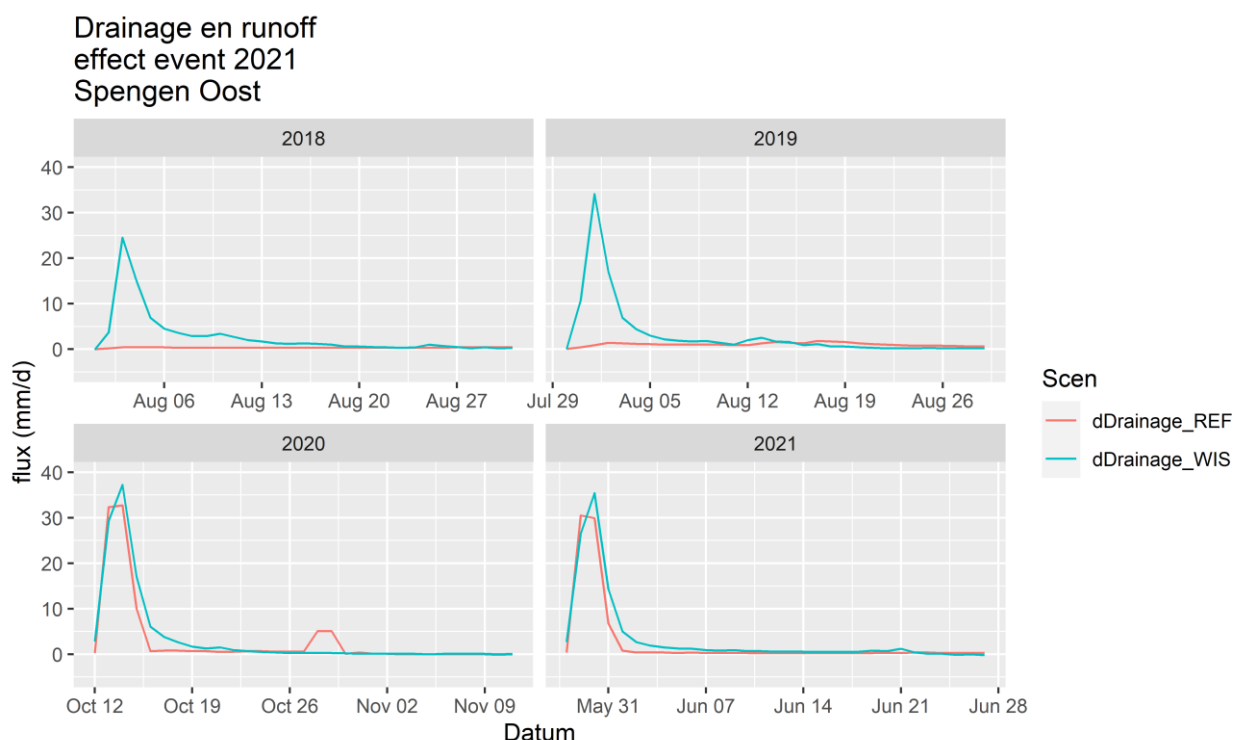
Figuur 3.1 is dit weergegeven voor het jaar 2018 t/m 2021.

Op 1 augustus 2018 was het erg droog en op dat specifieke moment was de berging in de bodem groot genoeg om het overgrote deel van de neerslag op te nemen, waardoor slechts een beperkte verhoging van de belasting van het oppervlaktewater gesimuleerd is als gevolg van de neerslaggebeurtenis. Bij de situatie met drukdrainage is er echter wel een aanzienlijke belasting van het oppervlaktewater berekend, doordat de bodem natter was en veel minder ruimte had om de bui op te vangen.

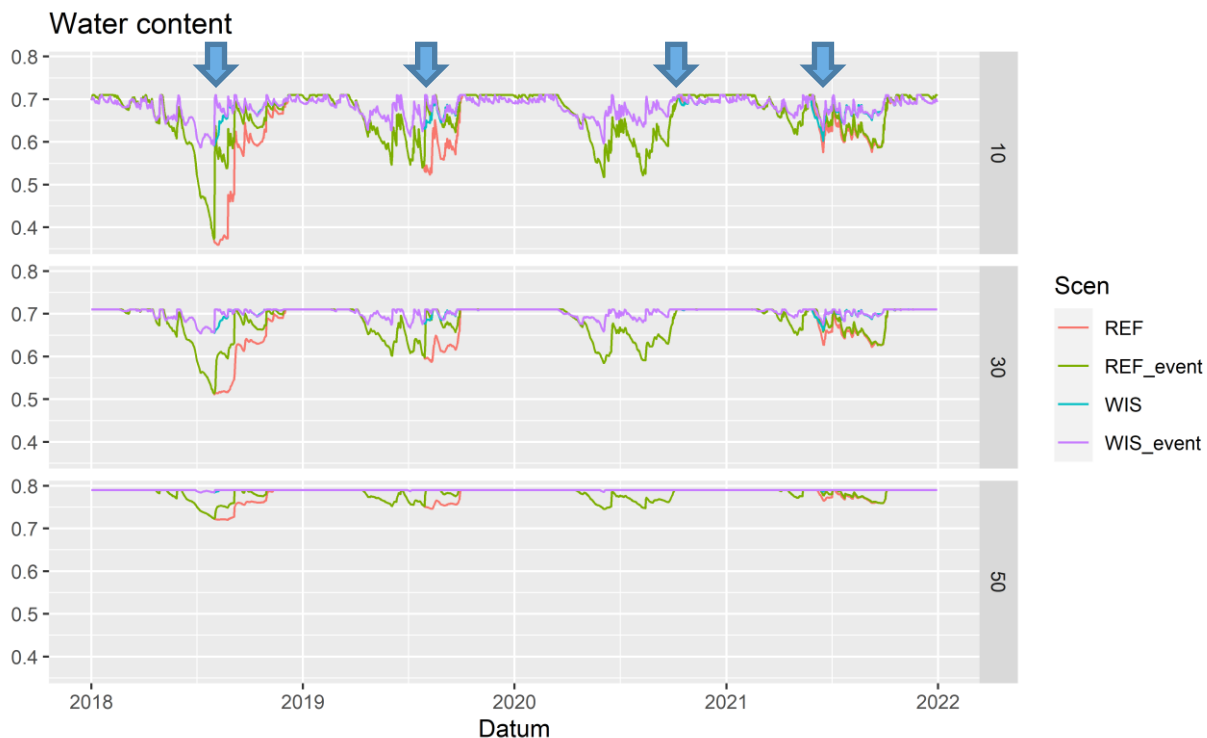
Op 30 juli 2019 is het net als in 2018 droog, maar minder droog dan op 1 augustus 2018. Ook dan is er in de referentie geen afvoer als gevolg van de neerslaggebeurtenis. Wel is bij een WIS een aanzienlijke belasting van het oppervlaktewater te verwachten.

De neerslaggebeurtenissen op 12 oktober 2020 en 28 mei 2021 reageren vergelijkbaar, zowel voor de referentie als de situatie met een WIS. In al deze gevallen is de uitgangssituatie in de bodem erg nat.

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** zijn ter illustratie de gehalten bodemvocht weergegeven op verschillende bodemdiepten. Hierin is te zien dat de eerste neerslaggebeurtenis in de droge zomer van 2018 valt. Door de extra neerslag van het event neemt de voorraad bodemvocht aanzienlijk toe. Ook het effect van WIS op de bodemvochtgehalten is duidelijk te zien.

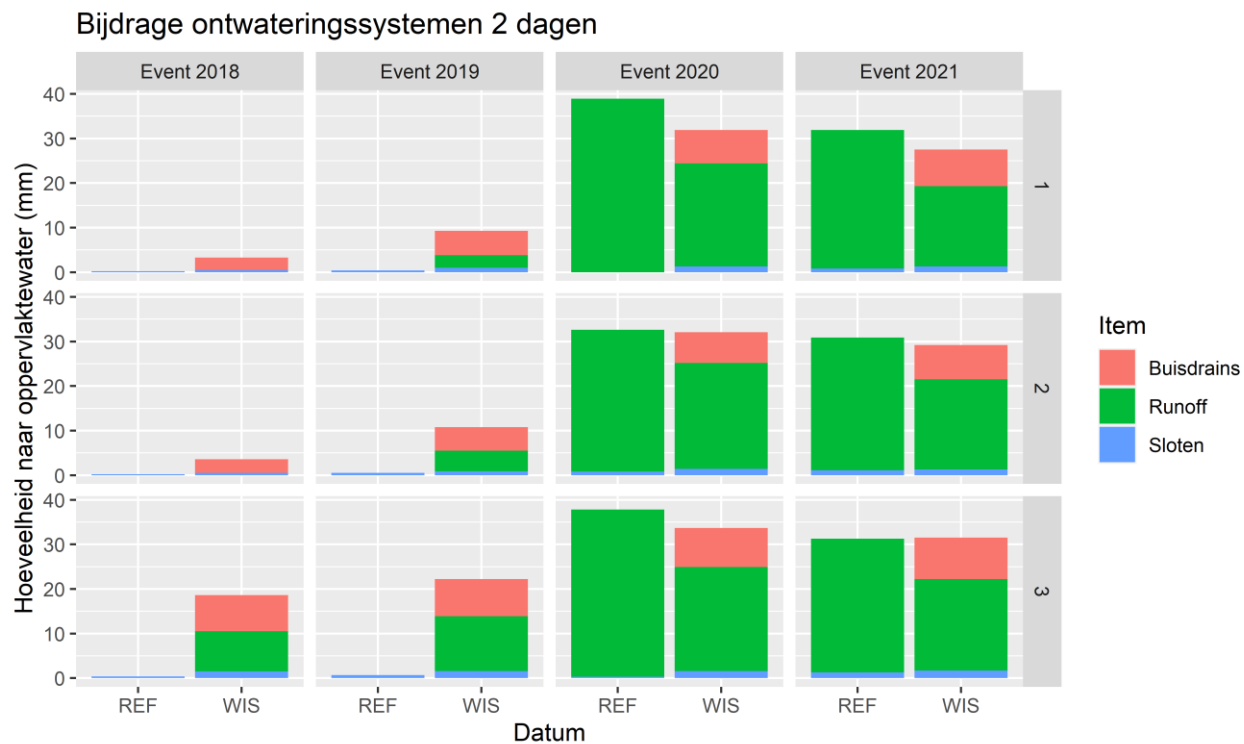


Figuur 3.1 Extra afvoer door neerslaggebeurtenis op belasting oppervlaktewater in referentiesituatie en bij WIS (Spengen-Oost).



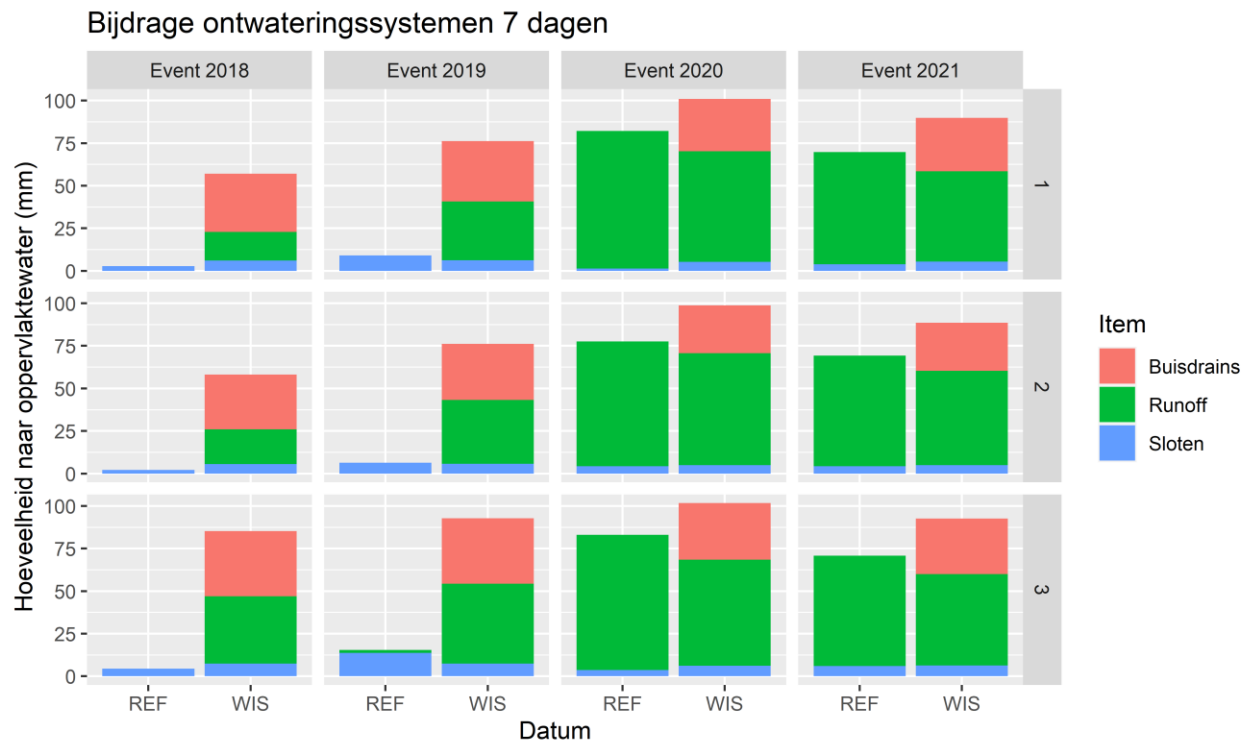
Figuur 3.2 Gehalten bodemvocht voor zowel referentie als WIS en voor zowel zonder als met extra neerslagevent (Spengen-Oost, op 10, 30 en 50 cm -mv). Met blauwe pijlen is aangegeven wanneer de neerslagevents vallen.

De eerste dag van de neerslaggebeurtenis valt 8 mm. Op de tweede dag is dat 44 mm. In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is de totale afvoer over twee dagen gegeven, waarbij ook de bijdrage van de verschillende ontwateringsmiddelen is weergegeven. Hieruit blijkt een aanzienlijk verschil voor 2018 en 2019 voor de scenario's met en zonder WIS. Voorafgaand aan de neerslagevents op 1 augustus 2018 en 30 juli 2019 was het erg droog, waardoor veel water in de bodem geborgen kan worden. Dit geldt sterker voor de referentie dan voor WIS. In de situatie met een WIS is de berging door de infiltratie minder groot dan in de referentie, waardoor in die twee dagen al een zekere afvoer naar het oppervlaktewater plaatsvindt. Bij de events van 12-10-2020 en 28-05-2021 waren de startsituaties aanzienlijk natter en treedt er dus meer afvoer naar oppervlaktewater op. De bijdrage van run-off neemt bij druk-/onderwaterdrainage af. Dit is een gevolg van de aanwezige drainage, waardoor de startsituatie minder nat is dan in de referentiesituatie en tevens doordat de drains zelf ook actief zijn tijdens het event: het water zoekt de weg van de minste weerstand en dat is dan ook via de drains.



Figuur 3.3 Afvoer naar oppervlaktewater voor zowel de referentie als met WIS en door extra neerslagevent (per jaar en per locatie: 1 Lange Weide, 2 Spengen-Oost, 3 Spengen-West), gesommeerd over de eerste twee dagen.

Over een periode van zeven dagen (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) is er voor alle locaties en alle neerslagevents een verhoging van de afvoer richting oppervlaktewater. Ook hier springen 2018 en 2019 eruit vanwege de droge initiële situatie voor de referentiesituatie. Hier zijn de relatieve effecten het grootst.



Figuur 3.4 Afvoer naar oppervlaktewater voor zowel de referentie als met WIS en door extra neerslagevent (Per jaar en per locatie: 1 Lange Weide, 2 Spengen-Oost, 3 Spengen-West), gesommeerd over de eerste zeven dagen.

In Bijlage 1 zijn in tabelvorm de extra afvoeren richting oppervlaktewater weergegeven voor de verschillende locaties (voor de eerste twee en zeven dagen na de start van de neerslaggebeurtenis).

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Modellering

Het bodemwatersysteem is gekalibreerd met behulp van de grondwaterstanden. De grondwaterstanden konden goed gesimuleerd worden.

Effecten afvoer

Het doel wordt verwoord door de volgende vraag:

Wat is het effect van drukdrainage of onderwaterdrainage op de verschillende afvoercomponenten in een typisch veenweideperceel?

Voor alle drie locaties zijn vier events doorgerekend van 92 mm in vier dagen (herhalingstijd bui tien jaar). De effecten op de belasting van het oppervlaktewater zijn berekend voor een situatie zonder en een situatie met een drukdrainage of onderwaterdrainage (waterinfiltratiesysteem, WIS). Bij de simulaties is aangenomen dat het oppervlaktewaterpeil niet is beïnvloed door de extra aanvoer.

Verschillende conclusies zijn op basis van de simulaties te trekken:

- Initiële situatie droog of nat

Uit de simulaties blijkt duidelijk een verschil in belasting van het oppervlaktewater bij een drogere of nattere startsituatie. Een drogere situatie heeft betrekking op de berging die in de bodem aanwezig is. Deze is afhankelijk van het vochtgehalteprofiel van de bodem. Uit de simulaties blijkt dat de events met de droge startsituaties (2018 en 2019) aanzienlijk minder belasting geven dan de natte startsituaties (events van 2020 en 2021).

- Wel of geen WIS

Een WIS heeft invloed op de startsituatie, op de beschikbare berging in de bodem bij aanvang van een event. Een WIS heeft in droge perioden een vernattend effect. Maar in nattere perioden heeft het door de drainage juist een verdrogend effect. Hierdoor kan een WIS voor drogere perioden leiden tot meer afvoer in vergelijking met de situatie zonder WIS, maar voor nattere perioden juist tot minder afvoer.

Een tweede effect van een WIS is dat het WIS ook water kan afvoeren. Dit leidt bij natte startsituaties tot minder run-off in vergelijking met een situatie zonder WIS. In droge startsituaties is het vernattende effect van een WIS op de startsituatie bepalend, waardoor er minder water van het neerslagevent in de bodem geborgen kan worden en daardoor nemen alle deelstromen richting oppervlaktewater toe.

- Tijdseffecten

Uit de simulaties volgt dat voor de droge startsituatie de afvoer in twee en zeven dagen aanzienlijk toeneemt. Voor de natte startsituaties is een afname in afvoer berekend voor de eerste twee dagen, maar een toename over zeven dagen (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).

Uit **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** blijkt dat bij een WIS bij de natte startsituatie de afvoer in zeven dagen 95 mm bedraagt. Dit is meer dan de grootte van de neerslaggebeurtenis (92 mm). De natte startsituatie zorgt voor een extra bijdrage aan de afvoer (ook zonder neerslaggebeurtenis is een afvoer): ook in de startsituatie is de grondwaterstand hoger dan de oppervlaktewaterstand, met als gevolg een flux richting het oppervlaktewater.

Tabel 4.1 Afvoer zonder en met WIS en toename afvoer door WIS (in mm over het aantal dagen na start neerslaggebeurtenis). Startsituatie Droog betreft gemiddelde van events van 2018 en 2019, startsituatie Nat betreft gemiddelde events van 2020 en 2021.

Dagen na start event	Referentie afvoer in mm		WIS afvoer in mm		Toename afvoer in mm	
	Startsituatie		Startsituatie		Startsituatie	
	Droog	Nat	Droog	Nat	Droog	Nat
1	0	2	0	3	0	1
2	0	34	11	31	11	-3
3	2	65	43	68	41	3
7	7	75	74	95	67	20

Geconcludeerd wordt dat bij onderwaterdrainage/drukdrainage inderdaad de belasting van het oppervlaktewater toeneemt bij relatief veel neerslag in vergelijking met een situatie zonder druk/onderwaterdrainage, al kan er in het geval van een natte startsituatie wel een vertraging in zitten. Heel bepalend voor de effecten is de startsituatie (de beschikbare berging in de bodem bij aanvang van de bui).

Advies gebruik modellen bij opschaling

De effecten voor de belasting van het oppervlaktewater werken door in de waterstanden die in het oppervlaktewater zullen optreden. Zoals hierboven is beschreven, is geen rekening gehouden met deze verhoogde oppervlaktewaterstanden, waardoor ook de afvoer van veld richting oppervlaktewater gestremd kan worden. Dit zou dan betekenen dat de percelen minder goed hun water kwijt kunnen en dus meer water in de bodem van of op maaiveld op het perceel wordt geborgen. Hier dient bij het doorwerken van de extra belasting rekening mee gehouden te worden.

Het grote verhaal is natuurlijk dat door een WIS gedurende droge perioden water in de bodem wordt geïnfilteerd, waardoor de beschikbare bergingscapaciteit voor neerslagevents afneemt en dus de gevoeligheid voor extremere waterstanden in het oppervlaktewatersysteem toeneemt. Het betreft zodoende een optimalisatievraagstuk: in hoeverre worden droogte en veenoxidatie tegengegaan, terwijl tijdelijk hogere oppervlaktewaterstanden worden geaccepteerd?

4.2 Aanbevelingen

De effecten zijn bepaald voor de afvoer vanaf een perceel richting oppervlaktewater. De effecten van terugstuwing door oplopende oppervlaktewaterstanden zijn buiten beschouwing gelaten. Aanbevolen wordt dit met een oppervlaktewatermodel in beeld te brengen.

Literatuur

Akker, J. J. H. van den, R. F. A. Hendriks, I.E. Hoving, B. Meerkerk, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter & A. van den Toorn, 2013. Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard. Wageningen: Alterra, Wageningen-UR (Alterra-rapport; no. 2466)

Heinen, M., F. Brouwer, C. Teuling, D.J.J. Walvoort, 2021. BOFEK2020 - Bodemfysische schematisatie van Nederland: update bodemfysische eenhedenkaart. Wageningen: Wageningen Environmental Research, 2021. Rapport / Wageningen Environmental Research; 3056.

Heinen, M., G. Bakker, J.H.M. Wösten, 2020. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks – Update 2018. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2978.

Hendriks, R. F. A., J. J. H. van den Akker, K. van Houwelingen, J. van Kleef, M. Pleijter & A. van den Toorn, 2013. Pilot onderwaterdrains Utrecht. Wageningen: Alterra, Wageningen-UR (Alterra-rapport; no. 2479)

Kroes, J.G., J.C. Van Dam, R.P Bartholomeus, P. Groenendijk, M. Heinen, R.F.A. Hendriks, H.M. Mulder, I. Supit, P.E.V. van Walsum, 2017. SWAP version 4. Theory description and user manual. Wageningen, Alterra. Alterra Report 2780.

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

Bijlage 1 Review, modelverbetering en resultaten

Review modellen Spengen en Lange Weide

In het onderstaande is voor de onderdelen die van belang zijn voor de opzet van een SWAP-model een review van het werk van Luuk Reudink uitgevoerd.

Executable

In de 2021-studie is voor SWAP gebruikgemaakt van versie 4.0.1. Voor deze studie is gebruikgemaakt van versie 4.1.82, waarbij ook uitvoer wordt weggeschreven omtrent de dynamiek van de macroporiën, zodat dit ook visueel gemaakt kan worden. Tevens is in deze versie een verbeterde formulering van hysteresis bij vernatting en verdroging doorgevoerd. In de nieuwere versie kan de parametrisatie net anders zijn en kunnen de simulatieresultaten ook net anders uitpakken.

Simulatieperiode

Onderstaande tabel geeft weer welke simulatieperiode is gebruikt in de studie van Reudink en welke in de huidige. In de huidige studie is uitgegaan van een langere simulatieperiode om ook verschillende nattere en drogere jaren met elkaar te kunnen vergelijken. In deze periode zullen verschillende T10-neerslagevents worden toegevoegd om het effect op de afvoer te bepalen voor een situatie met en een situatie zonder onderwater- of drukdrainage.

Tabel B1.1 *Simulatieperiode: vergelijking met studie Reudink, 2021.*

Model	Studie 2021	Studie 2022 (huidige)
Lange Weide	20-03-2019 tot 22-07-2021	01-01-2015 tot 31-12-2021
Spengen, Scherpenzeel	05-07-2018 tot 12-11-2020	01-01-2015 tot 31-12-2021
Spengen, van Herk	05-09-2018 tot 28-08-2020	01-01-2015 tot 31-12-2021

Meteogegevens

Onderstaande tabel geeft weer welke meteogegevens zijn gebruikt in de studie van Reudink en welke in de huidige studie.

Tabel B1.2 *Meteostation: vergelijking met studie Reudink, 2021.*

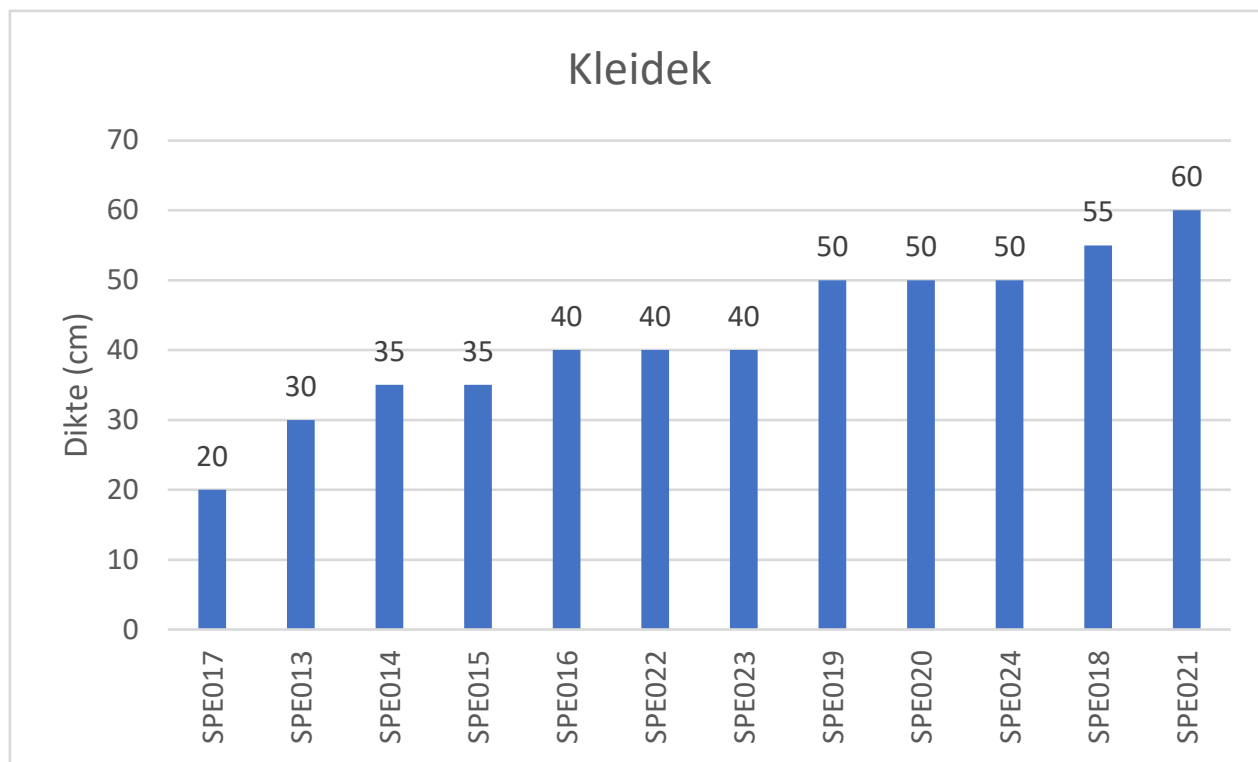
Model	Studie 2021	Studie 2022 (huidige)
Lange Weide	Cabauw (verdamping) radar FEWS-WIS (neerslag)	Cabauw (verdamping en neerslag)
Spengen, Scherpenzeel	De Bilt (verdamping) radar FEWS-WIS (neerslag)	Cabauw (verdamping en neerslag)
Spengen, van Herk	De Bilt (verdamping) radar FEWS-WIS (neerslag)	Cabauw (verdamping en neerslag)

Parametrisatie gewas

Als gewas is gras gehanteerd.

Bodemschematisatie en bodemfysica (inclusief macroporiën)

In de parametrisatie van Reudink (2021) tellen de percentages zand, silt en klei, die de textuur vormen, niet op tot 100%: organische stof maakt volgens de definitie geen deel uit van de textuur. Onderstaande grafiek geeft de variatie in de dikte van de kleilaag weer te Spengen. De mediaan in de dikte bedraagt 40 cm. Dit komt ongeveer overeen met de dikte gebruikt in de modellering van Reudink (2021). De gebruikte dikten zijn overgenomen in de modellering van 2022.



Figuur B1.1 Verdeling kleidikten te Spengen.

Tabel B1.3 Dikte kleidek: vergelijking met studie Reudink, 2021.

Model	Studie 2021	Studie 2022 (huidige)
Lange Weide	50 cm	50 cm
Spengen, Scherpenzeel	35 cm	35 cm
Spengen, van Herk	50 cm	50 cm

De gehanteerde bodemfysische parameters zijn voor de waterretentiecurve vergeleken met die van de bouwstenen van de Staringreeks. De kleilaag aan de top komt overeen met bouwsteen B17 (een venige klei met 25-70% org. mat.) en de lagen 2 en 3 met O17 (mesotroof en eutroof veen).

In de parameterisatie zijn Mualem-van Genuchten-parameters (MVG) gebruikt. Bij verzadiging is de doorlaatfactor vaak hoger dan de gefitte waarde van de MvG-relatie. In de simulaties is gebruikgemaakt van de optie om met macroporiën te simuleren. In dat geval wordt de verzadigde doorlaatfactor voor een belangrijk deel bepaald door de macroporiën. Dit betekent ook dat de doorlaatfactor van de aggregaten enigszins lager is dan wat de bodemfysische relaties aangeven. Om dit te simuleren, is in de huidige simulaties de optie gebruikt die aangeeft dat boven een bepaalde onderdruk de doorlaatfactor constant is (zie optie H_ENPR).

In de parametrisatie van de bodem is ook de berekening van de temperatuur meegenomen (SWHEA = 1), waarbij voor de numerieke methode is gekozen (SWCALT = 2). De textuur dient dan opgegeven te worden,

waarbij de fracties zand, silt en klei gelijk aan 1 moeten zijn. Dat is niet het geval. De fracties zijn aangepast, zodanig dat de onderlinge verhouding niet verandert, maar wel optelt tot 1. Ook is het gehalte organisch materiaal aangepast.

Voor de krimp en zwel zijn voor Langeweide voor zowel veen als klei relaties voor klei gebruikt, waarbij alleen beneden een vochtgehalte van 38,5% horizontale krimp plaatsvindt. Hierdoor werd geen of minimale horizontale krimp en zwel gesimuleerd, wat niet met de werkelijkheid in het veld overeenkomt. Dit is aangepast door krimp vanaf verzadiging mogelijk te maken, afhankelijk van de krimprelatie. Bij krimpscheuren voedt de neerslag die in de scheuren valt direct diepere lagen.

Drainagemiddelen en oppervlaktewaterstanden

In de simulaties zijn voor de buisdrainage hoge drainage- en infiltratieweerstanden gebruikt (120 tot 200 d). Dit leidt in de winter tot redelijk hoge afvoeren over maaiveld. Waarschijnlijk zijn deze drainageweerstanden in werkelijkheid lager. In Hendriks (2013) is voor de buisdrainage een drainageweerstand van 45 tot 51 dagen gebruikt en voor de infiltratieweerstand 50 tot 60 dagen. Voor de sloten lijken de gehanteerde drainageweerstanden ongeveer de juiste waarde te hebben.

Simulatie van de (druk)drainage

Reudink (2021) heeft voor de simulatie van drukdrainage en onderwaterdrainage de gemeten oppervlaktewaterpeilen en putstanden als invoer gebruikt.

Onderrandvoorwaarde

Als onderrandvoorwaarde is een stijghoogte in het watervoerend pakket opgelegd met een weerstand tussen freatisch grondwater en deze stijghoogte (de deklaagweerstand). Het potentiaalverschil in combinatie met de deklaagweerstand bepaalt dan de grootte van de kwel en de wegzijging. Dit is een kalibratieparameter.

Verbetering SWAP-modellen

Op basis van de review zijn de modellen aangepast. Tevens is een kalibratie uitgevoerd op basis van de gemeten grondwaterstanden.

Zoals beschreven, is de simulatieperiode uitgebreid, zodat in de analyse de effecten van een extreem neerslagevent voor zowel droge als natte zomers doorgerekend kunnen worden. Nog altijd worden de plots bemeten. In dit onderzoek is gebruikgemaakt van de gemeten grondwaterstanden tot en met 2021. Deze gegevens zijn door HDSR aangeleverd (en vooraf gecontroleerd).

Bij de modelverbetering is een handmatige kalibratie op basis van de grondwaterstanden uitgevoerd. Hierbij zijn twee wegen bewandeld. Ten eerste is visueel beoordeeld of de simulaties goed de metingen volgen. Het voordeel van een visuele beoordeling is dat duidelijk wordt waar afwijkingen voorkomen. Op deze manier kan inzicht worden verkregen in de processen en waar modelverbeteringen mogelijk zijn. Ten tweede is de fit ook statisch gekwantificeerd door de Root Mean Square Error (RMSE) en de Mean Average Error (MAE) te bepalen.

Metingen grondwaterstanden, peilen en aanvoer

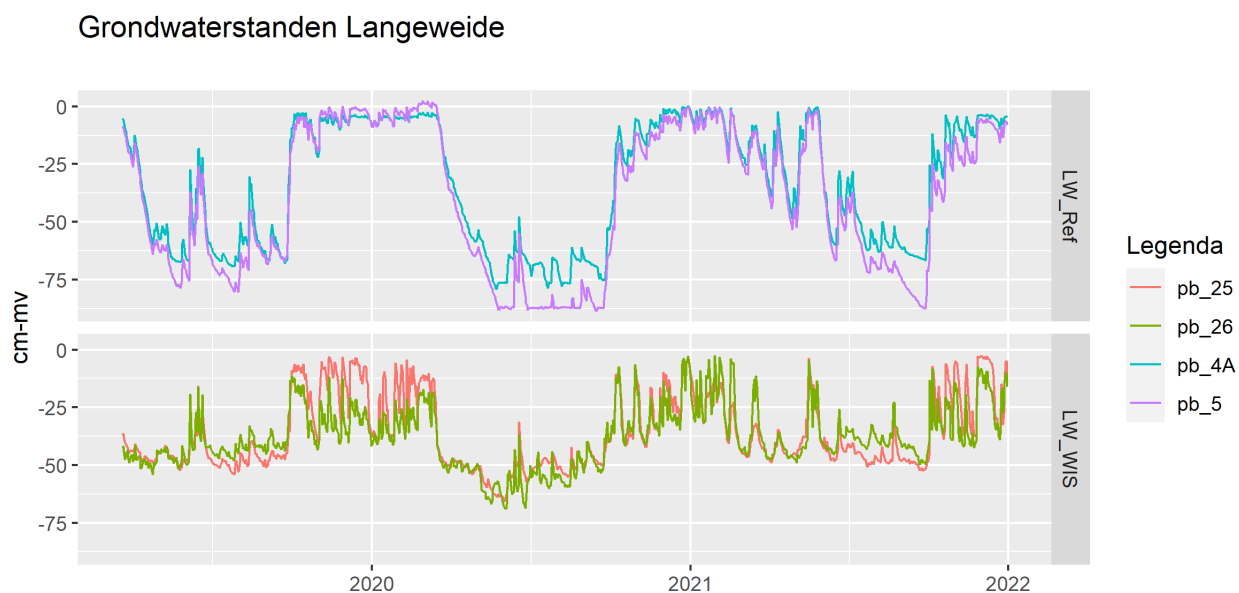
Voor de verschillende systemen zijn metingen uitgevoerd om de effecten van WIS in beeld te kunnen brengen en om basisgegevens te hebben voor de kalibratie van de modellen.

In de Figuren B1.3 tot en met B1.5 zijn de meetgegevens weergegeven.

In Lange Weide is onderwaterdrainage aanwezig, waarbij alleen grondwaterstanden zijn gemeten. In Figuur B1.3 is dit weergegeven. Duidelijk is dat de grondwaterstanden in het referentieveld in de zomer dieper uitzakken dan in de situatie met onderwaterdrains. In de referentiesituatie zijn de grondwaterstanden in de winter aanzienlijk hoger dan in de situatie met de onderwaterdrains.



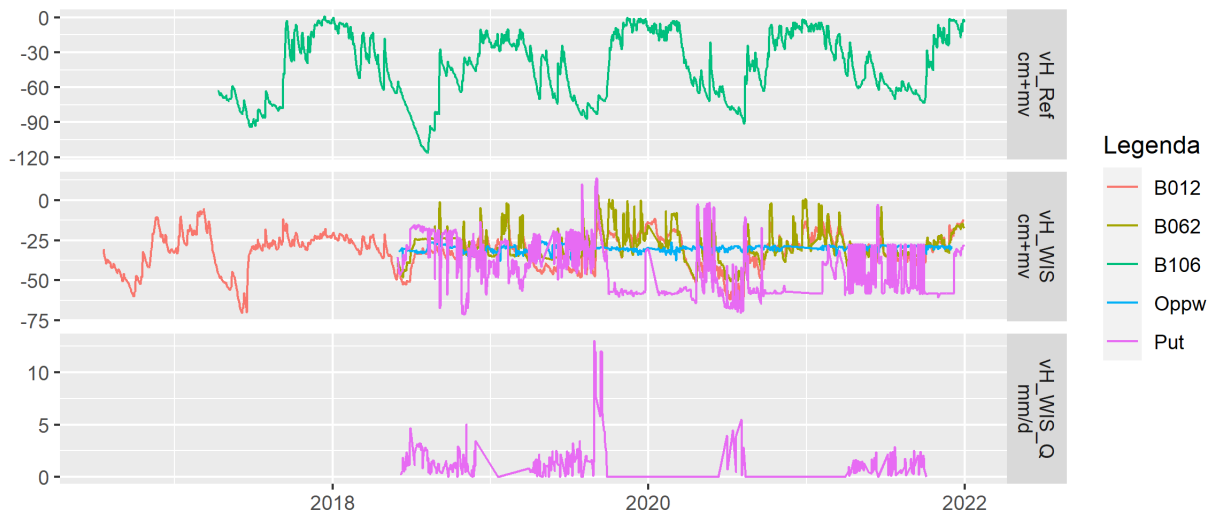
Figuur B1.2 Locatie Spengen-West en Spengen-Oost.



Figuur B1.3 Grondwaterstanden Lange Weide (referentie en met infiltratiedrains).

Voor de locaties bij Spengen zijn naast de grondwaterstanden ook de peilen in put en oppervlaktewater en tevens de infiltratiedebieten gegeven. Uit de gegevens blijkt dat het oppervlaktewaterpeil weinig fluctueert gedurende het jaar. Er is geen verschil tussen zomer- en winterpeilen. Opvallend is dat het peil in de drukput bij Spengen-West lang niet altijd hoger is dan het oppervlaktewaterpeil. Voor Spengen-Oost is het meer uitzondering dan regel dat het waterpeil in de drukput hoger is dan het oppervlaktewaterpeil. Ook lijkt de aanvoer in 2019 wel erg hoog, namelijk meer dan 7 mm/d gedurende een lange periode (juli t/m half augustus). Het is vreemd dat gedurende deze periode de waterstand in de put laag is. Mogelijk is de infiltratie zo groot dat de aanvoerpomp het niet kan bijbenen, waardoor de waterstand in de put ver uitzakt. In SWAP is deze drukdrainage op dezelfde wijze geïmplementeerd als de onderwaterdrainage, waarbij echter met een verhoogde waterstand gerekend kan worden gedurende de zomerperiode.

(Grond)waterstanden van Herk



Figuur B1.4 Grondwaterstanden en infiltratiedebiet Spengen-West (referentie en met infiltratiedrains).

(Grond)waterstanden Scherpenzeel



Figuur B1.5 Grondwaterstanden en infiltratiedebiet Spengen-Oost (referentie en met infiltratiedrains).

De kalibratie is in een aantal stappen uitgevoerd:

- Als eerste zijn de referentiepercelen gekalibreerd. De volgende parameters zijn geoptimaliseerd: drainage- en infiltratieweerstand en verschillende parameters die de dynamiek van de macroporiën beschrijven.
- Als tweede zijn de WIS-percelen gekalibreerd. Hierbij zijn de drainage- en infiltratieweerstand van de onderwaterdrainage gekalibreerd.

Kalibratie percelen

De volgende parameters zijn aangepast:

- Drainage en infiltratieweerstand

De drainageweerstand is bepaald voor de verschillende locaties op 250 à 350 dagen en de infiltratieweerstand circa 450 dagen. Alleen de locatie Spengen-West liet een lagere infiltratieweerstand zien: 300 d (Tabel B1.4). Voor de WIS is ervan uitgegaan dat deze altijd aanstaat en dat infiltratie wordt geïnduceerd zodra de grondwaterstanden onder het peil komen te staan.

Tabel B1.4 Drainageweerstanden ontwateringsmiddelen.

Locatie	Watergangen		Buisdrainage	
	Dr. weerstand (d)	Inf. weerstand (d)	Dr. weerstand (d)	Inf. weerstand (d)
Lange Weide	350	450	60	80
Spengen-Oost	300	450	60	80
Spengen-West	250	300	45	60

- Parameters macroporiën

De verdeling van de diepte van de macroporiën bepaalt natuurlijk waar het water kan infiltreren en hoeveel directe aanvulling van het grondwater plaatsvindt. De parameter PPICSS bepaalt het deel 'internal catchment'. Door dit klein te nemen, passeert neerslag vallend op de macroporiën de onverzadigde zone. Dit water bevindt zich in de 'main bypass flow domain' en vult het grondwater dan direct aan. Een waarde van PPICSS = 0,2 is in de simulaties gebruikt.

In de simulaties is ervan uitgegaan dat de macroporiën in principe doorlopen tot beneden de laagste grondwaterstand ($Z_{ST} = -150$ cm). Het neerslagwater zal dan direct het verzadigde grondwater kunnen voeden. Het model bepaalt op basis van het watergehalte hoe groot de macroporiën zijn.

In onderstaand overzicht zijn de macropore parameters gegeven, zoals opgenomen in de swp-file:

```

*****
* Part 7: Preferential flow due to macropores
*-----

* Switch for macropore flow [0..2, I]:
  SWMACRO = 1          ! 0 = no macropore flow
                   ! 1 = macropore flow

*****

Z_AH = 0.00           ! Depth bottom A-horizon [-1000..0 cm, R]
Z_IC = -100.00        ! Depth bottom Internal Catchment (IC) domain [-1000..0 cm, R]
Z_ST = -150.00        ! Depth bottom Static macropores [-1000..0 cm, R]
VIMPSTSS = 0.04       ! Volume of Static Macropores at Soil Surface [0..0.5 cm3/cm3, R]
PPICSS = 0.2          ! Proportion of IC domain at Soil Surface [0..0.99 -, R]
NUMSBDM = 10          ! Number of Subdomains in IC domain [0..MaDm-2 -, I]
POWM = 1.00           ! Power M for frequency distribut. curve IC domain [0..100 -, R]
RZAH = 0.00           ! Fraction macropores ended at bottom A-horizon [0..1 -, R]
SPOINT = 1.0          ! Symmetry Point for freq. distr. curve [0..1 -, R]
SWPOWM = 0            ! Switch for double convex/concave freq. distr. curve [0..1 -, I]
DIPOMI = 20.00        ! Minimal diameter soil polygons (shallow) [0.1..1000 cm, R]
DIPOMA = 20.00        ! Maximal diameter soil polygons (deep) [0.1..1000 cm, R]
PNDMXMP = 0.02        ! Threshold of ponding for overland flow into macropores [0.1..10 cm, R]

* Z_MB50 = -50.0      ! parameter to mimicMACRO for describing full macropore volume over total profile depth

* Start of Tabel with shrinkage characteristics
* ISOILLAY3 = indicator (number) of soil layer, as defined in part 4 [1..MAHO, I]
* SWSoilShr = Switch for kind of soil for determining shrinkage curve: 0 = rigid soil, 1 = clay, 2 peat [0..2 -, I]
* SWSHrInp = Switch for determining shrinkage curve [1..2 -, I]: 1 = parameters for curve are given;
*                               2 = typical points of curve are given
*
* GeomFac = Geometry factor (3 = isotropic shrinkage), [0..100, R]
* ThetCrMP = Threshold moisture content above which only vertical shrinkage [0..1 cm3/cm3, R]
* ShrParA to ShrParE = parameters for describing shrinkage curves,
* depending on combination of SWSoilShr and SwShrInp [-1000..1000, R]:
* SWSoilShr = 0 : 0 variables required (all dummies)
* SWSoilShr = 1, SwShrInp 1 = : 3 variables required (ShrParA to ShrParC) (rest dummies)
* SWSoilShr = 1, SwShrInp 2 = : 2 variables required (ShrParA to ShrParB) (rest dummies)
* SWSoilShr = 2, SwShrInp 1 = : 4 variables required (ShrParA to ShrParD) (rest dummies)
* SWSoilShr = 2, SwShrInp 2 = : 5 variables required (ShrParA to ShrParE)

ISOILLAY3  SWSoilShr  SwShrInp  ThetCrMP  GeomFac  ShrParA  ShrParB  ShrParC  ShrParD  ShrParE
1          1          2          0.71      3.00      0.817    1.531    0.00      0.00      0.00
2          1          2          0.71      3.00      0.817    1.531    0.00      0.00      0.00
3          2          1          0.78      3.00      1.148    3.377    0.284    2.114    0.371
4          0          1          0.01      3.00      0.001    0.001    0.001    0.001    0.001

* End of Tabel with shrinkage characteristics

ZnCrAr = -5.00        ! Depth at which crack area of soil surface is calculated [-100..0 cm]
*-----

* Start of Table with sorptivity characteristics
* ISOILLAY4 = Indicator of soil layer
* SWSorp = Switch sorptivity function
* 1 = on base of hydraulic function with Parlange correction
* 2 = emperical function based on measurements
* SorpFacParl = Factor for modifying Parlange function (Optional, default 1.0) [0..100 -, R]
* SorpMax = Maximal sorptivity at theta residual [0..100 cm/d*0.5, R]
* SorpAlfa = Fitting parameter for empirical sorptivity curvee [-10..10 -, R]

ISOILLAY4  SWSorp  SorpFacParl  SorpMax  SorpAlfa
1          1          0.33      0.3      0.5
2          1          0.33      0.3      0.5
3          1          0.33      0.3      0.5
4          1          0.33      0.3      0.5

* End of Tabel with sorptivity characteristics

SWDARCY = 1           ! Switch for using Darcy flow for infiltration out of macropores
ShapeFacMp = 0.1      ! default
CritUndSatVol = 0.10  ! default

SwDrRap = 0           ! Switch for kind of drainage function [0..1 -, I]:
RapDraResRef = 50.    ! Reference rapid drainage resistance [0..1.E+10 /d]
RapDraReaExp = 1.0    ! exponent for reaction drainage to dynamic crack width [0..100 -, R]
* Number of drain level connected to rapid drainage
NumLevRapDra = 1

```

- (On)verzadigde doorlatendheid en waterretentie

In de simulaties is gebruikgemaakt van de optie om macroporiën te simuleren. In dat geval wordt de verzadigde doorlaatfactor voor een belangrijk deel bepaald door de macroporiën. Dit betekent ook dat de doorlaatfactor van de aggregaten enigszins lager is dan wat de bodemfysische relaties aangeven.

Om dit te simuleren, is in de huidige simulaties de optie gebruikt die aangeeft dat boven een bepaalde onderdruk de doorlaatfactor constant is (zie optie H_ENPR). Deze parameter is van belang voor de rekenstabiliteit van de simulaties en bleek voor de resultaten weinig gevoelig.

In Tabel B1.5 zijn de bodemfysische gegevens weergegeven.

Tabel B1.5 Bodemfysische parametrisatie.

soilphys_id	Laag cm-mv	sfu	ORES	OSAT	ALFA	NPAR	LEXP	KSATFIT
Lange Weide	0 - 50	B17	0.000	0.710	0.010	1.266	-1.230	1.000
	51 - 85	O17	0.000	0.790	0.010	1.132	-4.000	1.000
	86 - 600	O17	0.000	0.910	0.014	1.303	-4.000	1.000
Spengen- Oost	0 - 35	B17	0.000	0.710	0.010	1.266	-1.230	1.000
	36 - 85	O17	0.000	0.790	0.010	1.132	-4.000	1.000
	86 - 600	O17	0.000	0.910	0.014	1.303	-4.000	1.000
Spengen- West	0 - 50	B17	0.000	0.710	0.012	1.140	-1.230	1.000
	51 - 80	O17	0.000	0.790	0.010	1.132	-4.000	1.000
	81 - 600	O17	0.000	0.910	0.014	1.303	-4.000	1.000

- Andere parameters:

Geen berekening (SWIRFIX = 0)

Berging op maaiveld van 2 mm (POND MX = 0.2 cm)

Geen hysteresis (SWHYST = 0)

Natschade volgens Feddes (SWOXYGEN = 1)

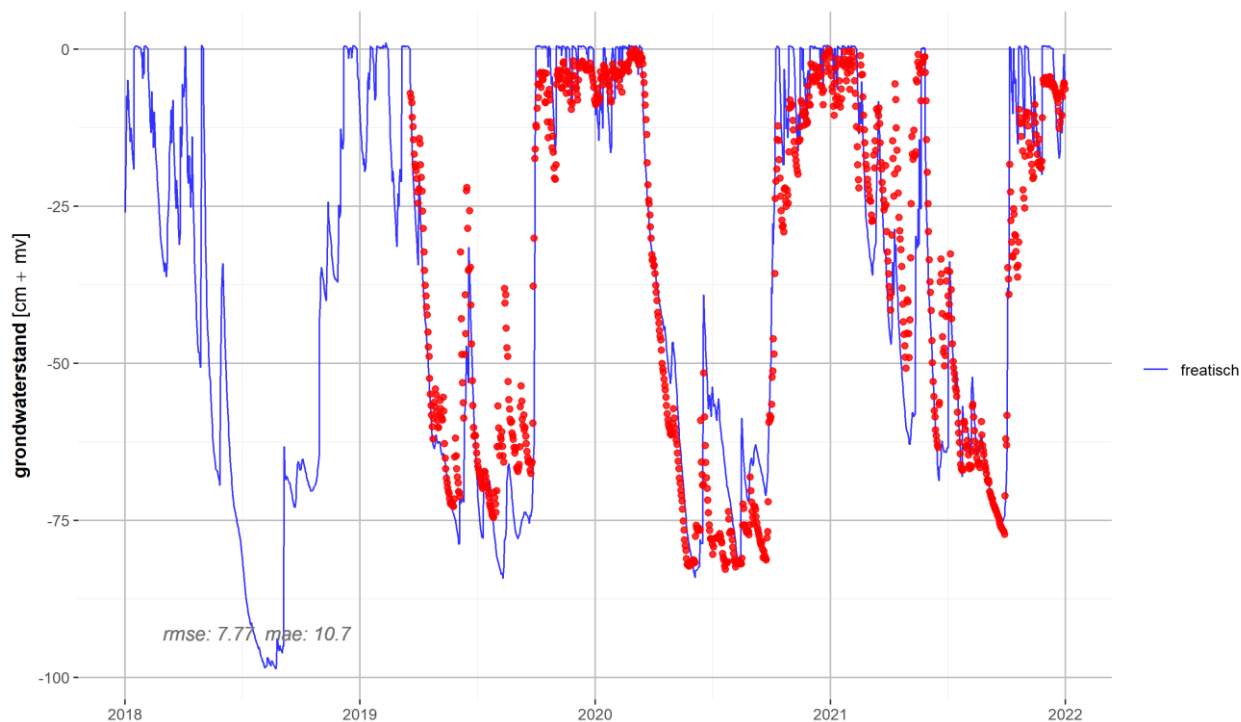
Compensatie nat- en droogtestress volgens Jarvis (ALPHACRIT = 0.7)

Simulatie grondwaterstanden

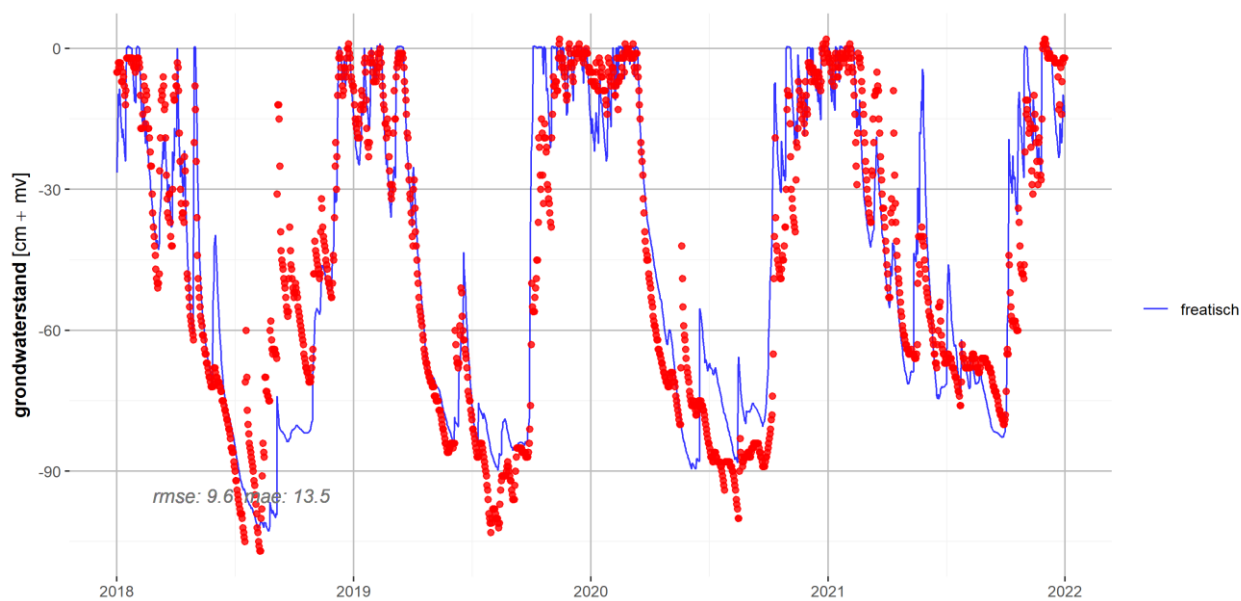
In de onderstaande figuren zijn de resultaten van de kalibratie weergegeven. De statistieken van de kalibratie zijn in de bijbehorende tabel opgenomen. Uit de resultaten blijkt dat de grondwaterstanden heel goed te simuleren zijn. De RMSE bedraagt 8 tot 13 cm. Zowel de referentiepercelen als de WIS-percelen geven een goede fit, waarbij ook de parameters van de drainageweerstand overeenkomen met waarden die gewoonlijk worden gerapporteerd (bv. Hendriks, 2013). In de figuur met de drukdrains voor Spengen-Oost zakken in de praktijk de grondwaterstanden in 2019 en 2020 dieper uit dan gesimuleerd wordt. Voor 2019 is dat een periode met een hoge aanvoer (8 mm/d) en een lage putwaterstand. Mogelijk was er hier sprake van het weglekken van water. Voor 2020 valt de periode met lage grondwaterstand samen met juist weinig aanvoer en een lage putstand. Dit correspondeert goed met de lage gemeten grondwaterstanden. In het model staat de infiltratie altijd aan, waardoor een verschil met de praktijk optreedt.

Tabel B1.6 Statistieken kalibratie grondwaterstanden

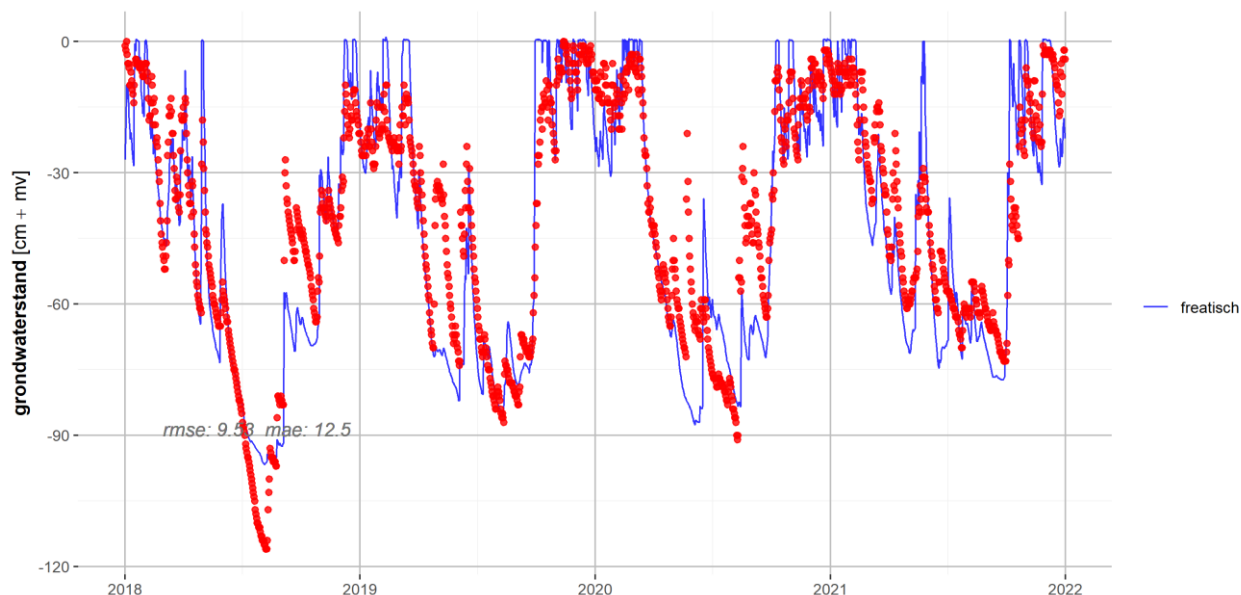
location	variant	rmse (cm)	mae (cm)	Runid
Lange Weide	Referentie	10.70	7.77	1014
Spengen-Oost	Referentie	13.50	9.60	2010
Spengen-West	Referentie	12.50	9.53	3010
Lange Weide	WIS	8.04	6.08	1502
Spengen-Oost	WIS	13.50	9.88	2510
Spengen-West	WIS	8.67	6.36	3506



Figuur B1.6 Simulatie en meting grondwaterstand locatie Lange Weide, referentie (1014) (blauw: simulatie, rood: meting).

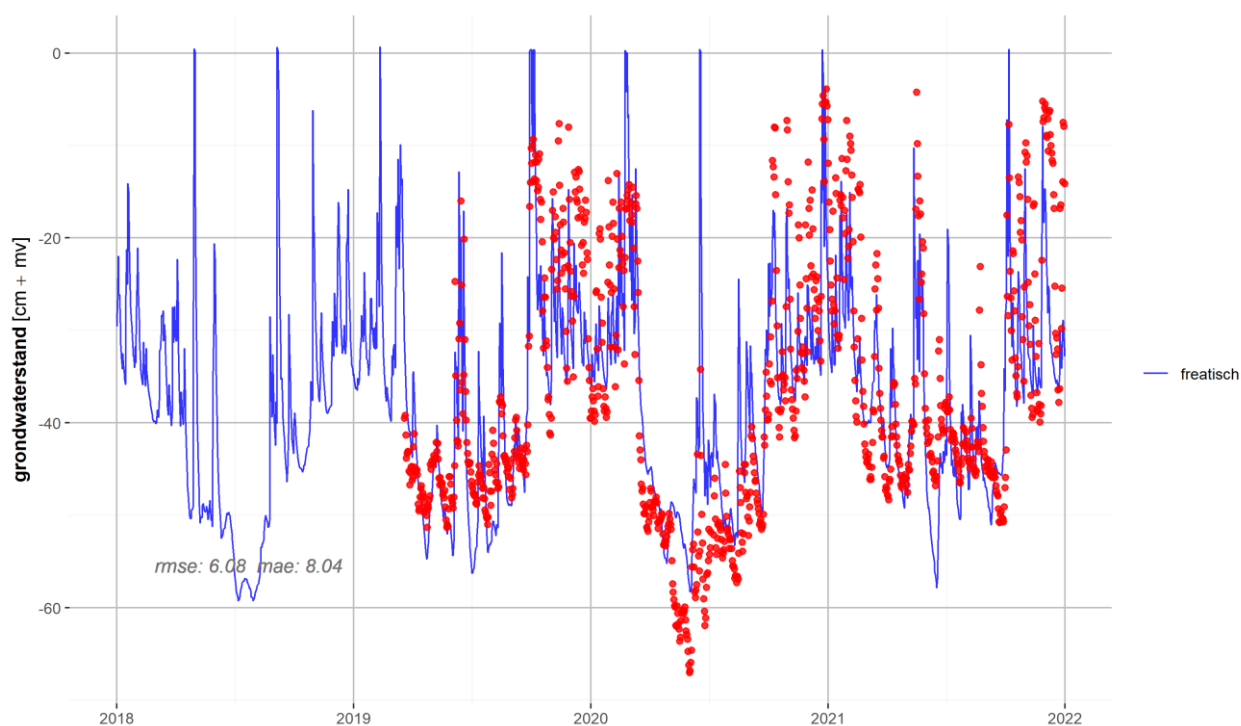


Figuur B1.7 Simulatie en meting grondwaterstand locatie Spengen-Oost, referentie (2010) (blauw: simulatie, rood: meting).

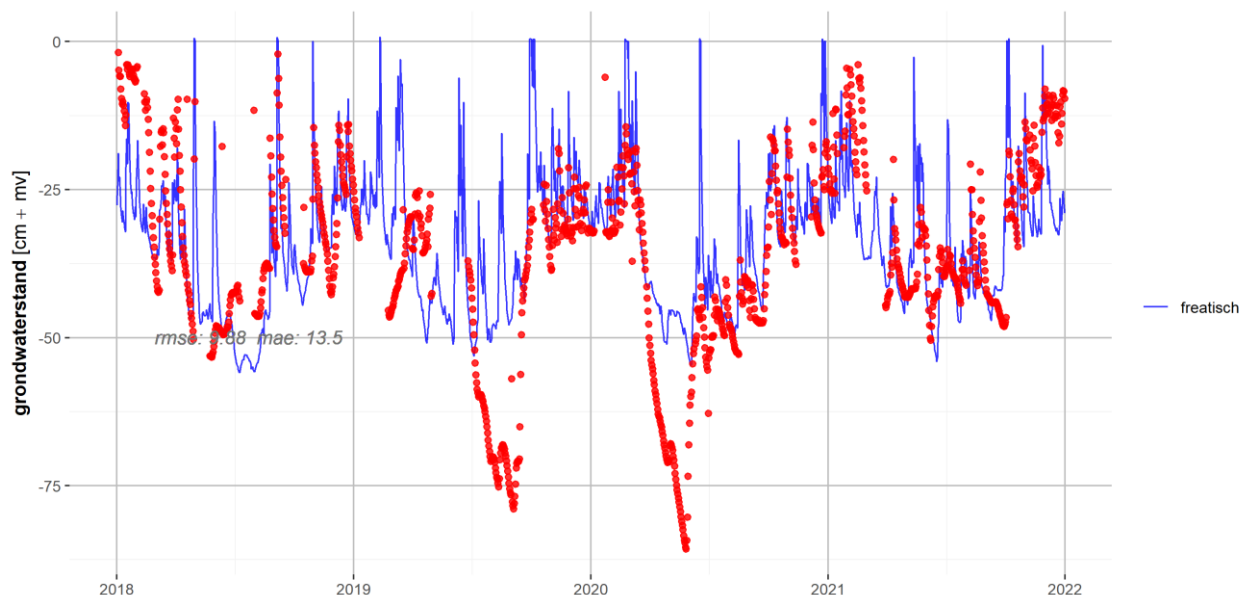


Figuur B1.8 Simulatie en meting grondwaterstand locatie Spengen-West, referentie (3010) (blauw: simulatie, rood: meting).

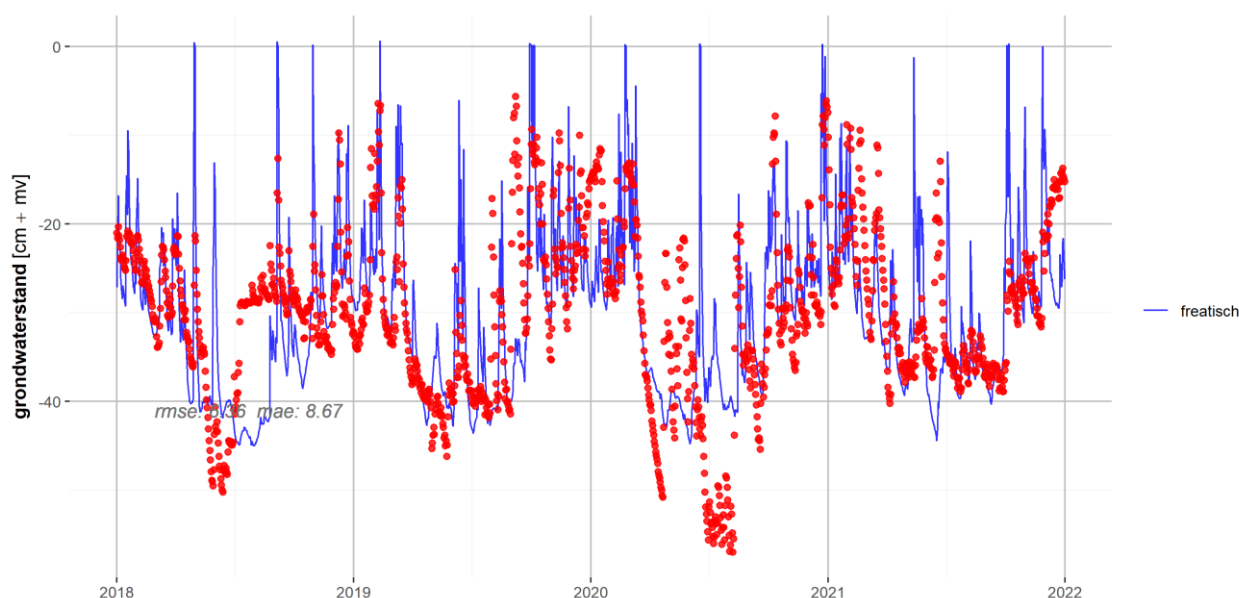
Aangenomen is dat bij drukdrainage voor de WIS-percelen een zekere doelgrondwaterstand wordt gehandhaafd. Dit is gesimuleerd door uit te gaan van een lagere drainage en infiltratieweerstand. Voor de doelgrondwaterstand is uitgegaan van het oppervlaktewaterpeil.



Figuur B1.9 Simulatie en meting grondwaterstand locatie Lange Weide, onderwaterdrains (1502) (blauw: simulatie, rood: meting).



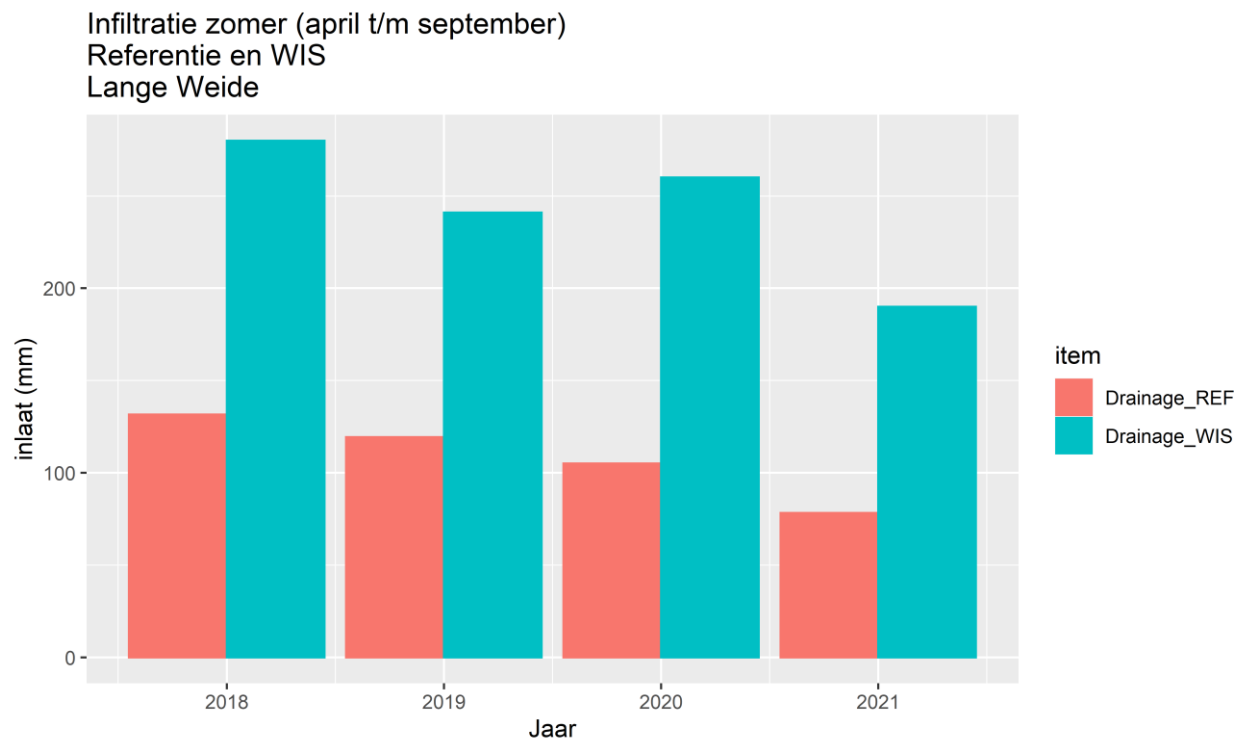
Figuur B1.10 Simulatie en meting grondwaterstand locatie Spengen-Oost, drukdrains (2510) (blauw: simulatie, rood: meting).



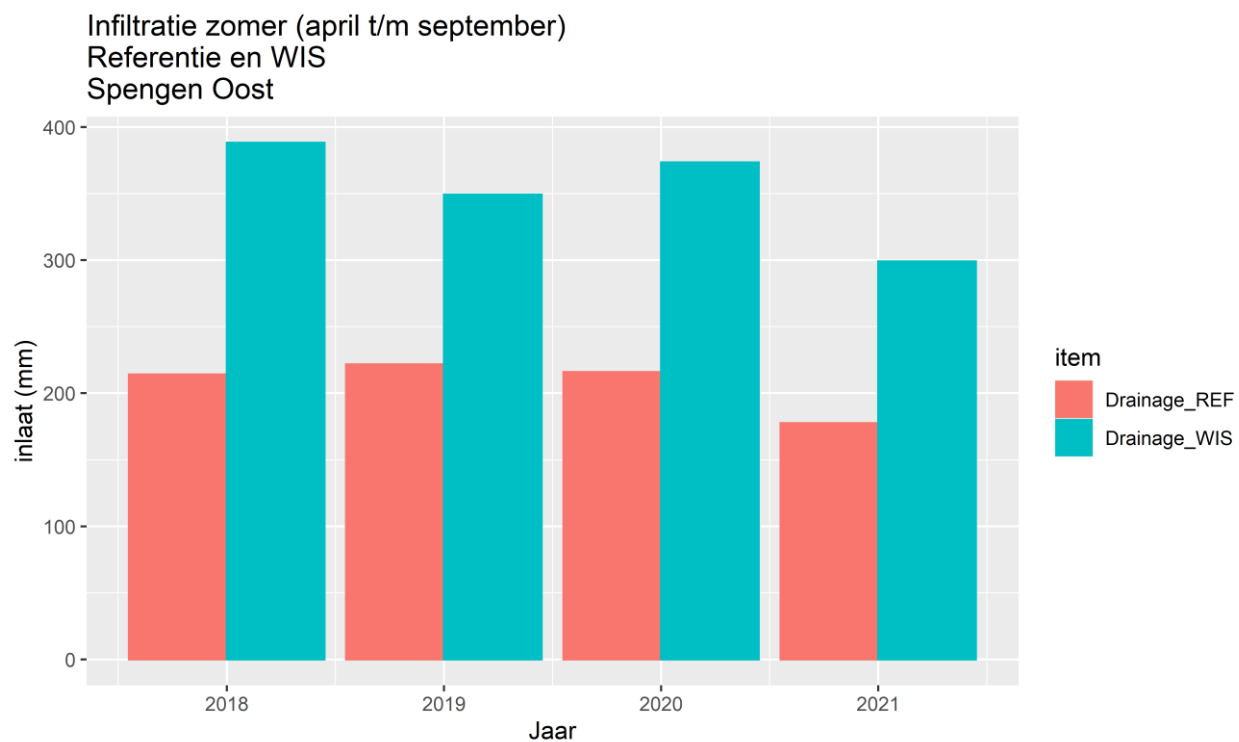
Figuur B1.11 Simulatie en meting grondwaterstand locatie Spengen-West, drukdrains (3506) (blauw: simulatie, rood: meting).

Resultaat interactie met oppervlaktewater

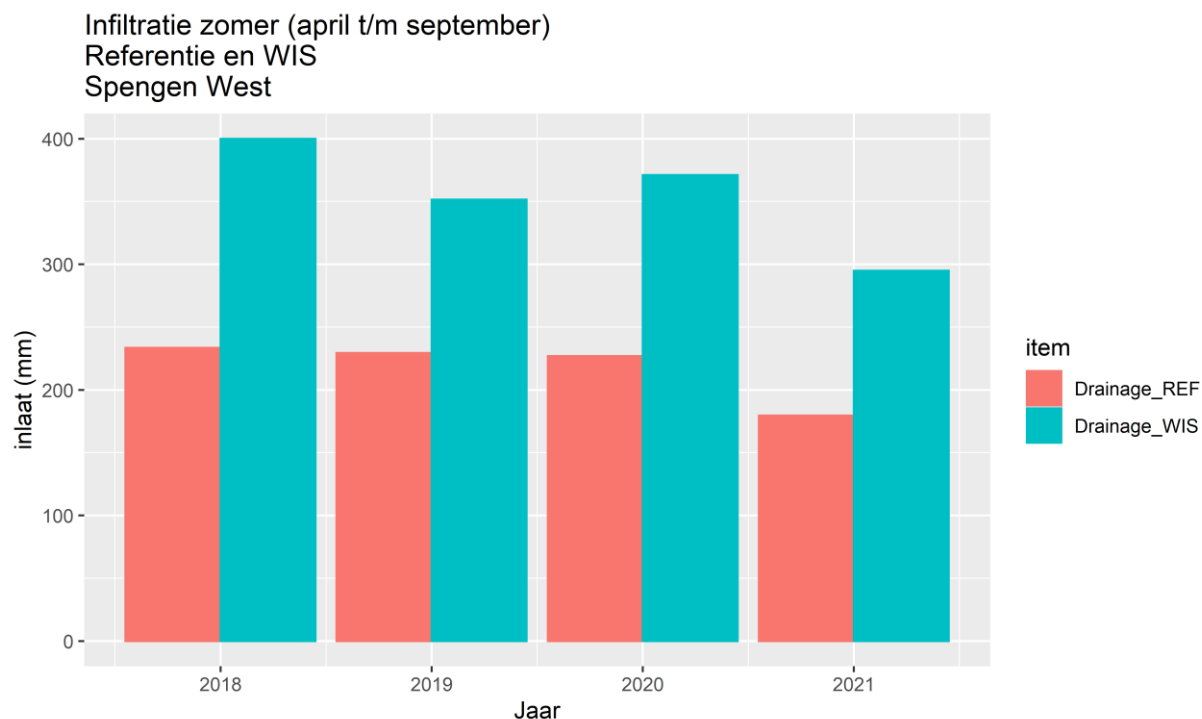
Via oppervlaktewater en druk-/onderwaterdrainage infiltreert gedurende de droge(re) perioden water vanuit het oppervlaktewater. In onderstaande figuren zijn de resultaten voor zowel de referentiesituatie als voor WIS weergegeven. Hieruit blijkt dat in het bijzonder voor Lange Weide de relatieve toename groot is.



Figuur B1.12 Infiltratie per jaar voor de zomerperiode in de referentie en de situatie met drukdrains voor locatie Lange Weide.

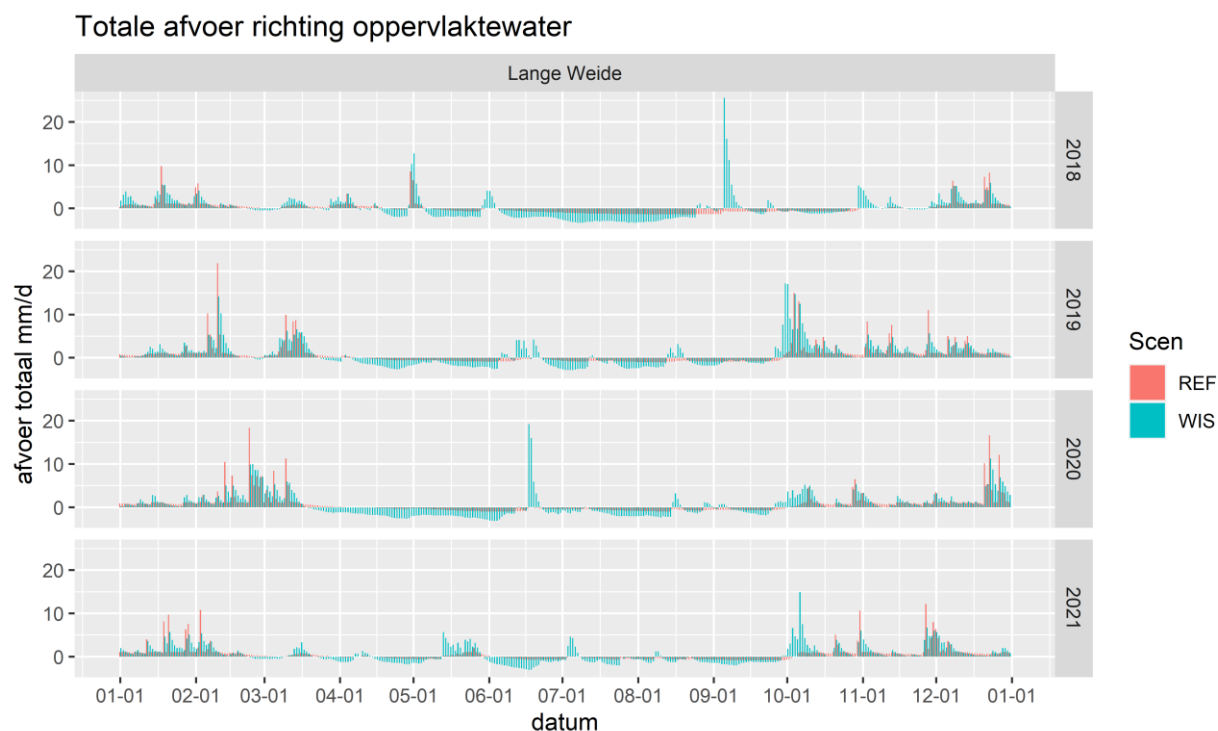


Figuur B1.13 Infiltratie per jaar voor de zomerperiode in de referentie en de situatie met drukdrains voor locatie Spengen-Oost.

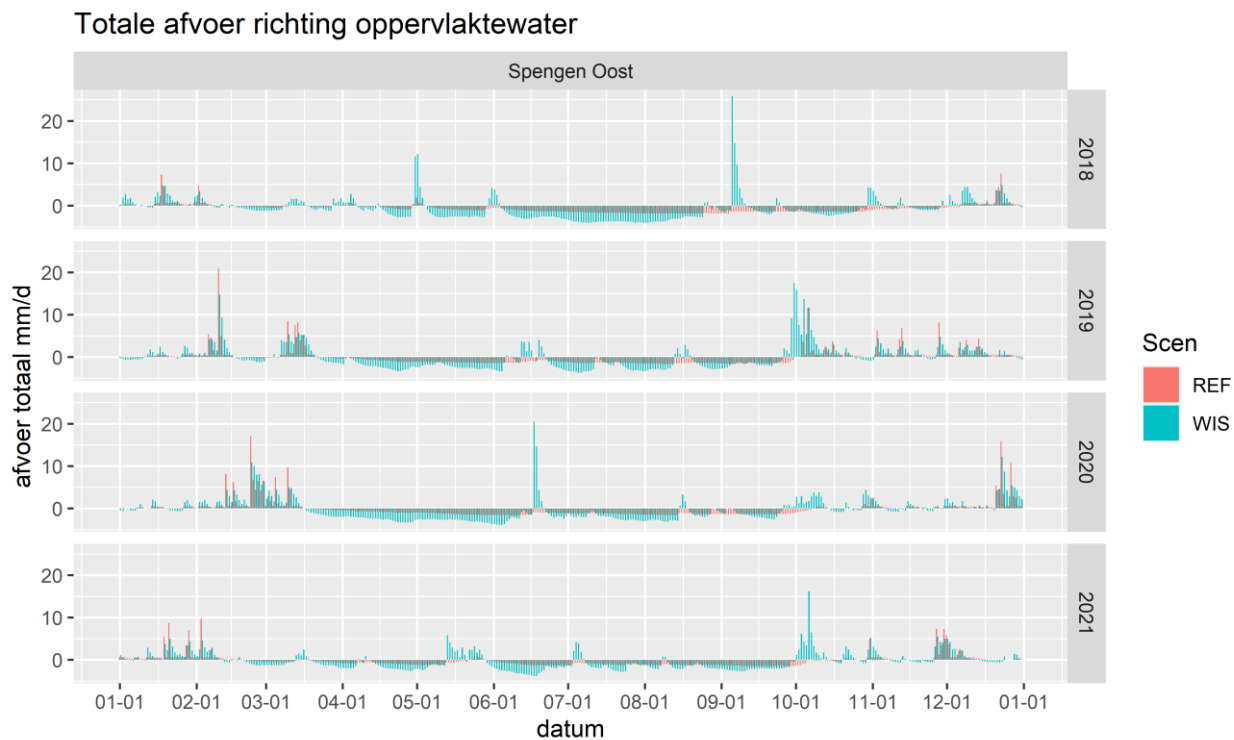


Figuur B1.14 Infiltratie per jaar voor de zomerperiode in de referentie en de situatie met drukdrains voor locatie Spengen-West.

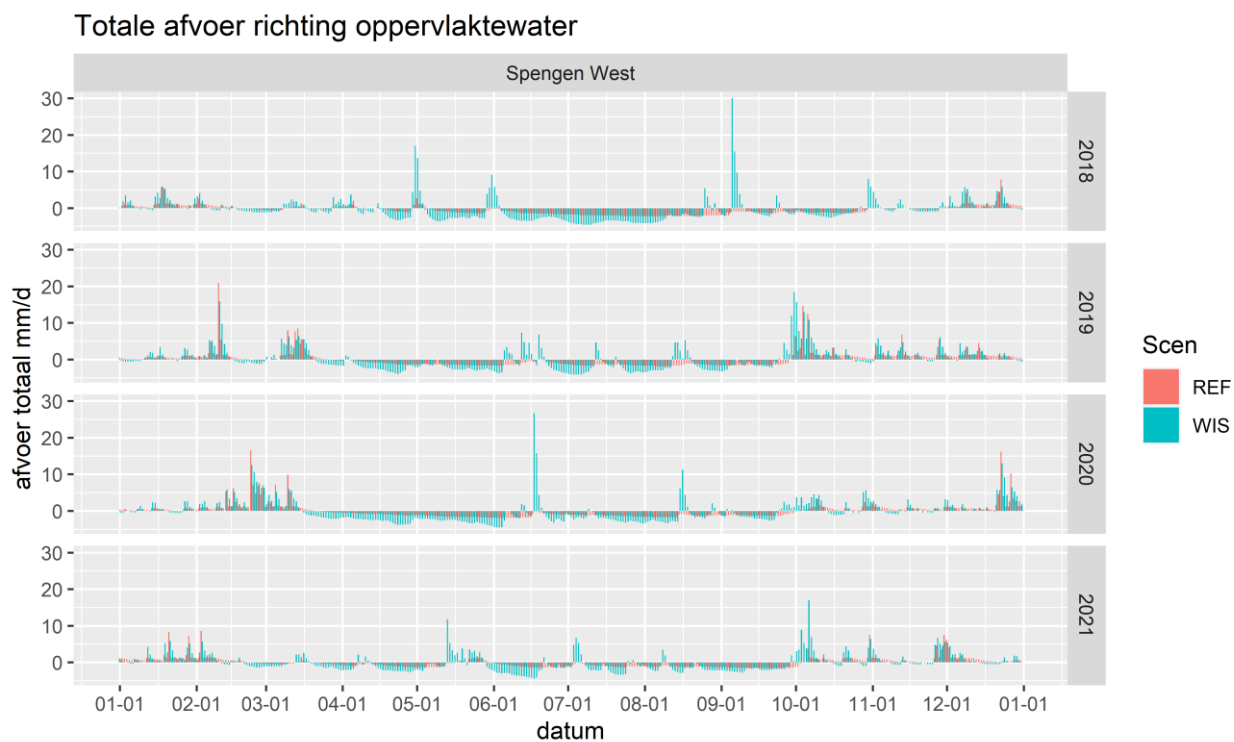
Door het WIS verandert de interactie van de bodem met het oppervlaktewater. Dat is in de onderstaande figuren weergegeven. Hierin is te zien dat bij de grotere neerslaggebeurtenissen in de zomer bij een WIS de afvoer naar het oppervlaktewater (veel) groter is, terwijl in de winter bij een WIS juist minder hoge pieken op (kunnen) treden.



Figuur B1.15 Afvoer naar oppervlaktewater (drainage en run-off) per dag in de situaties zonder en met drukdrains voor locatie Lange Weide.



Figuur B1.16 Afvoer naar oppervlaktewater (drainage en run-off) per dag in de situaties zonder en met drukdrains voor locatie Spengen-Oost.



Figuur B1.17 Afvoer naar oppervlaktewater (drainage en run-off) per dag in de situaties zonder en met drukdrains voor locatie Spengen-West.

Resultaat afvoer naar oppervlaktewater bij neerslaggebeurtenis

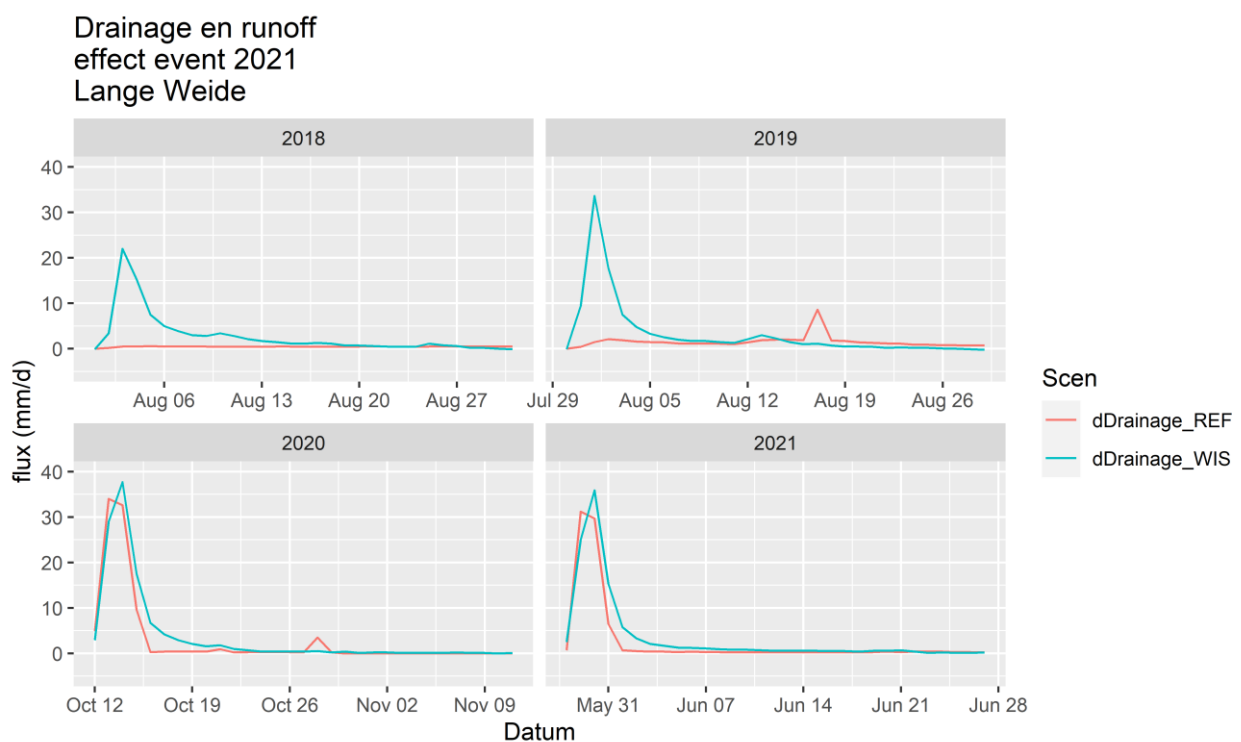
De neerslaggebeurtenis is voor ieder van de vier jaren toegevoegd op verschillende momenten. In Tabel B1.7 zijn deze dagen gegeven met daarbij een karakterisering van de grondwatersituatie op dat moment. Voor alle dagen is ervan uitgegaan dat de neerslag van dit event in de eerste 12 uur van iedere dag valt.

Tabel B1.7 Momenten met extra neerslagevent en karakterisering grondwatersituatie (referentiesituatie).

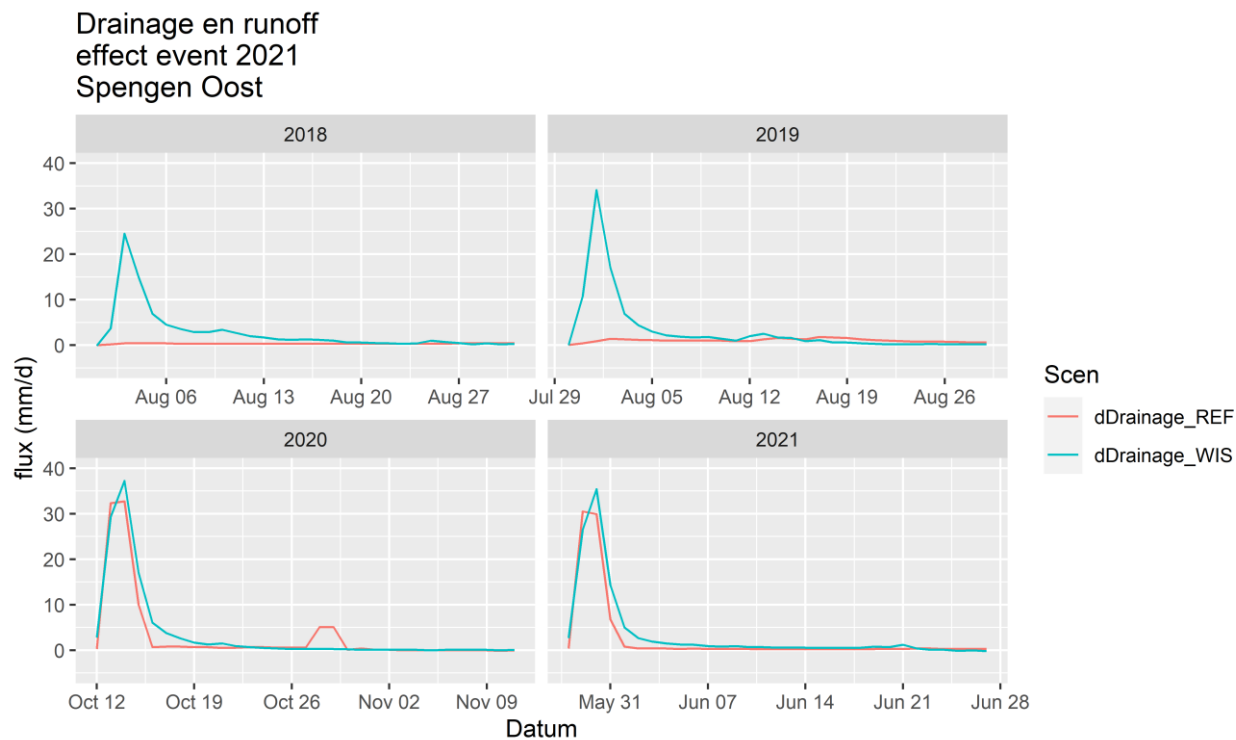
Dag	Karakterisering situatie bodemwater	grondwater
1 augustus 2018	heel weinig bodemvocht (0.41)*	erg lage grondwaterstand (-95 cm -mv)
30 juli 2019	weinig bodemvocht (0.58)*	gemiddelde grondwaterstand (-81 cm -mv)
12 oktober 2020	veel bodemvocht (0.71)*	hoge grondwaterstand (-4 cm -mv)
28 mei 2021	veel bodemvocht (0.71)*	middelhoge grondwaterstand (-17 cm -mv)

*bodemvochtgehalte (m³/m³) op 10 cm -mv

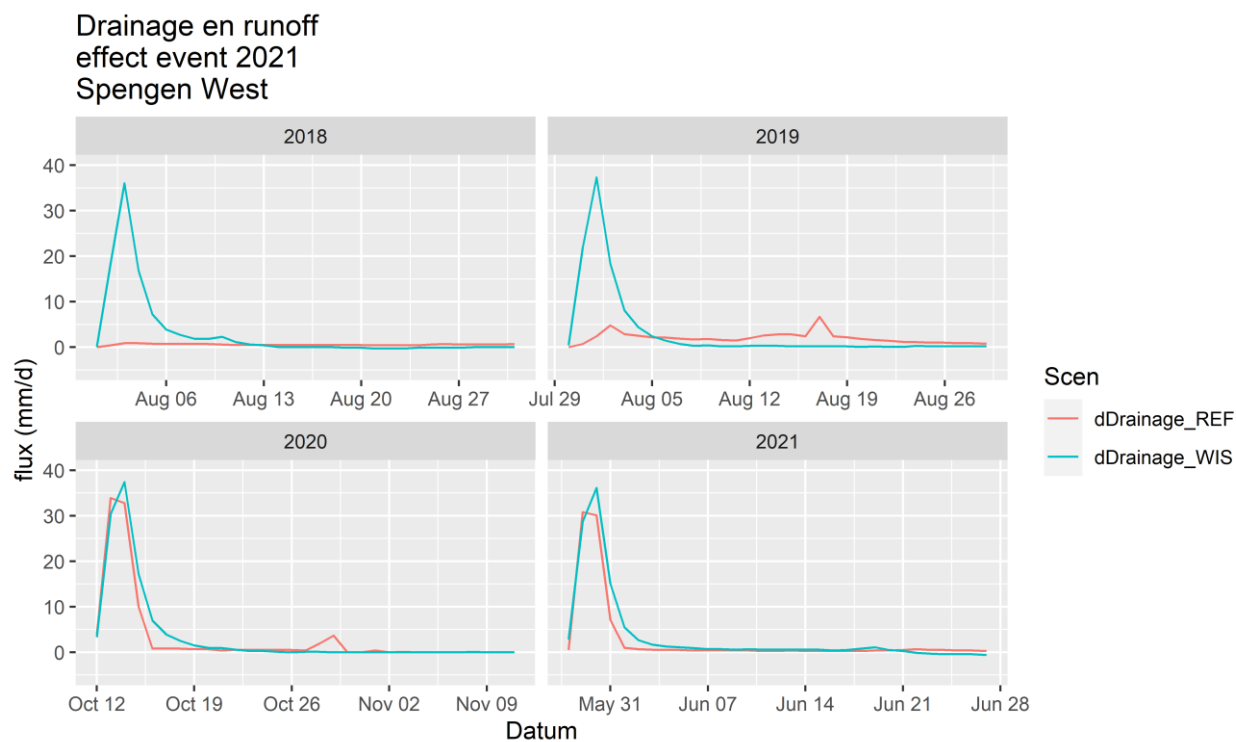
De effecten op de afvoer richting oppervlaktewater zijn in de onderstaande figuren weergegeven.



Figuur B1.18 Extra afvoer door neerslaggebeurtenis op belasting oppervlaktewater in referentiesituatie en bij WIS (Lange Weide).



Figuur B1.19 Extra afvoer door neerslaggebeurtenis op belasting oppervlaktewater in referentiesituatie en bij WIS (Spengen-Oost).



Figuur B1.20 Extra afvoer door neerslaggebeurtenis op belasting oppervlaktewater in referentiesituatie en bij WIS (Spengen-West).

Details drainagefluxen T10

Locatie : 1 Lange Weide, 2 Spengen-Oost, 3 Spengen-West
 Duur : duur vanaf begin neerslaggebeurtenis
 Scen : scenario
 dDrtot : toename totale ontwateringshoeveelheid na T=10
 dDr1sum : toename ontwateringshoeveelheid door sloten na T=10
 dDr2sum : toename ontwateringshoeveelheid door drainage na T=10
 dRunoffsum : toename run-off na T=10

Locatie	Jaar	Duur (d)	Scen	dDrtot (in mm)	dDr1sum (in mm)	dDr2sum (in mm)	dRunoffsum (in mm)
1	2018	2	REF	0.2	0.2	0	0
1	2018	2	WIS	3.3	0.5	2.8	0
1	2019	2	REF	0.4	0.4	0	0
1	2019	2	WIS	9.3	1	5.5	2.8
1	2020	2	REF	38.9	0	0	38.9
1	2020	2	WIS	31.9	1.3	7.5	23.1
1	2021	2	REF	31.9	0.8	0	31.1
1	2021	2	WIS	27.5	1.3	8.2	18
2	2018	2	REF	0.2	0.2	0	0
2	2018	2	WIS	3.6	0.5	3.1	0
2	2019	2	REF	0.5	0.5	0	0
2	2019	2	WIS	10.8	0.9	5.3	4.6
2	2020	2	REF	32.6	0.8	0	31.8
2	2020	2	WIS	32.1	1.4	6.9	23.8
2	2021	2	REF	30.9	1.1	0	29.8
2	2021	2	WIS	29.2	1.3	7.7	20.2
3	2018	2	REF	0.4	0.4	0	0
3	2018	2	WIS	18.6	1.5	8.1	9
3	2019	2	REF	0.7	0.7	0	0
3	2019	2	WIS	22.2	1.6	8.3	12.3
3	2020	2	REF	37.8	0.3	0	37.5
3	2020	2	WIS	33.7	1.6	8.8	23.3
3	2021	2	REF	31.3	1.3	0	30
3	2021	2	WIS	31.5	1.7	9.3	20.5

Locatie	Jaar	Duur (d)	Scen	dDrtot (in mm)	dDr1sum (in mm)	dDr2sum (in mm)	dRunoffsum (in mm)
1	2018	3	REF	0.7	0.7	0	0
1	2018	3	WIS	25.3	2	11.5	11.8
1	2019	3	REF	1.9	1.9	0	0
1	2019	3	WIS	42.9	2.5	13.9	26.5
1	2020	3	REF	71.5	0.1	0	71.4
1	2020	3	WIS	69.6	2.3	13.2	54.1
1	2021	3	REF	61.6	1.5	0	60.1
1	2021	3	WIS	63.4	2.5	15	45.9
2	2018	3	REF	0.6	0.6	0	0
2	2018	3	WIS	28.1	1.9	11.2	15
2	2019	3	REF	1.4	1.4	0	0
2	2019	3	WIS	44.9	2.3	13.1	29.5
2	2020	3	REF	65.3	1.4	0	63.9
2	2020	3	WIS	69.3	2.3	12.1	54.9
2	2021	3	REF	60.8	1.9	0	58.9
2	2021	3	WIS	64.6	2.4	13.8	48.4
3	2018	3	REF	1.3	1.3	0	0
3	2018	3	WIS	54.6	3.3	17.6	33.7
3	2019	3	REF	3.1	3.1	0	0
3	2019	3	WIS	59.5	3.3	17.3	38.9
3	2020	3	REF	70.6	0.7	0	69.9
3	2020	3	WIS	71.1	2.8	15.3	53
3	2021	3	REF	61.4	2.4	0	59
3	2021	3	WIS	67.6	3.1	16.8	47.7


Locative	Jaar	Duur	Scen	dDrtot	dDr1sum	dDr2sum	dRunoffsum
1	2018	7	REF	2.8	2.8	0	0
1	2018	7	WIS	57	6.1	34.2	16.7
1	2019	7	REF	9	9	0	0
1	2019	7	WIS	76.2	6.2	35.4	34.6
1	2020	7	REF	82.2	1.4	0	80.8
1	2020	7	WIS	100.9	5.3	30.7	64.9
1	2021	7	REF	69.7	3.9	0	65.8
1	2021	7	WIS	89.9	5.4	31.5	53
2	2018	7	REF	2.2	2.2	0	0
2	2018	7	WIS	58.1	5.6	32.1	20.4
2	2019	7	REF	6.4	6.4	0	0
2	2019	7	WIS	76.2	5.7	32.9	37.6
2	2020	7	REF	77.6	4.4	0	73.2
2	2020	7	WIS	98.8	5	28.1	65.7
2	2021	7	REF	69.2	4.4	0	64.8
2	2021	7	WIS	88.5	4.9	28.2	55.4
3	2018	7	REF	4.4	4.4	0	0
3	2018	7	WIS	85.2	7.4	38.3	39.5
3	2019	7	REF	15.5	13.7	0	1.8
3	2019	7	WIS	92.7	7.4	38.4	46.9
3	2020	7	REF	83	3.7	0	79.3
3	2020	7	WIS	101.7	6.2	33.2	62.3
3	2021	7	REF	70.8	6	0	64.8
3	2021	7	WIS	92.6	6.3	32.6	53.7

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3213
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.



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

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3213
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.

