

OPTIES BINNEN WATERWIJZER LANDBOUW IN 2020 VAN WWL-TABEL VERSIE 2.0.0 TOT MAATWERK MET WWL-REGIONAAL



RAPPORT

2021

03

OPTIES BINNEN WATERWIJZER LANDBOUW IN 2020
VAN WWL-TABEL VERSIE 2.0.0 TOT MAATWERK MET WWL-REGIONAAL

RAPPORT

2021

03

ISBN 978.90.5773.929.3



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Martin Mulder, Wageningen Environmental Research (WENR)
Pim Dik, Wageningen Environmental Research (WENR)
Marius Heinen, Wageningen Environmental Research (WENR)
Ruud Bartholomeus, KWR Water Research Institute
Jos van Dam, Wageningen Universiteit-Bodemfysica en Landgebruik
Mirjam Hack-ten Broeke, Wageningen Environmental Research (WENR)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Dit rapport is gebaseerd op werkzaamheden binnen de projecten Beheer & Onderhoud Waterwijzer Landbouw en het Lumbricus-project Maatwerktoeepassingen Waterwijzer Landbouw. Het project Beheer & Onderhoud Waterwijzer Landbouw is gefinancierd door STOWA, ACSG en Rijkswaterstaat en het Lumbricus-project door de waterschappen Aa en Maas, Limburg en Vechtstromen. Het rapport is tot stand gekomen met betrokkenheid van Linda van den Toorn en Robert Broekhuis (Vechtstromen), Gerben Tromp (Drents Overijsselse Delta), Chris van Rens (Aa en Maas) en Jurriaan Cok (Limburg). Het rapport is gereviewd door de leden van de begeleidingscommissie Beheer & Onderhoud Waterwijzer Landbouw, bestaande uit Saske Klerks (ACSG), Wim Werkman (RWS), Rob Ruijtenberg (STOWA), en leden van de werkgroep Onverzadigde Zone van het NHI; Jacques Peerboom (RWS) en Joost Heijkers (HDSR), en is vanuit Lumbricus goedgekeurd voor publicatie door de betrokken waterschapmedewerkers en proeftuincoördinatoren van Lumbricus.

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2021-03
ISBN 978.90.5773.929.3

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

WATERWIJZER LANDBOUW BETER INZETBAAR

Met het beschikbaar komen van de nieuwe onderdelen binnen Waterwijzer Landbouw (WWL) te weten de vernieuwde WWL-metarelaties (versie 2.0.0) levert vooral voor de zandgronden realistischer resultaten op. Daarnaast zijn met de maatwerktool WWL-regionaal ook eenvoudig berekening op gebied van gewasschade voor een gebied door te rekenen.

Waterwijzer Landbouw is het instrumentarium waarmee voor waterbeheerders en agrariërs een reproduceerbare kwantificering verkregen wordt van het effect van bijvoorbeeld waterhuishoudkundige maatregelen of klimaatverandering op landbouwkundige opbrengsten. Deze effecten worden uitgedrukt in termen van indirecte en directe effecten waarbij de directe effecten verder zijn uitgesplitst naar aandeel in droogte-, zuurstof- en/of zoutstress. Het betreft niet alleen langjarige gemiddelde resultaten voor landbouwopbrengst maar ook resultaten voor individuele weerjaren.

Eind 2018 is het instrument Waterwijzer Landbouw vrij beschikbaar gekomen. De toenmalige begeleidingssommissie was van mening dat het op dat moment het beste instrument was om gewasschades mee te berekenen wetende dat het nog niet volmaakt was. De begeleidingscommissie vond het belangrijk dat men er mee aan de slag ging en tekortkomingen en verbeterpunten aan te geven bij de ontwikkelaars via de helpdesk en de jaarlijkse gebruikersdagen. Hierdoor is er geleerd van de gebruikers welke onduidelijkheden er zijn, welke vragen de toepassing oproept en wat er verbeterd moet worden. Deze leerpunten zijn op de gebruikersdagen geprioriteerd.

Een aantal verbeteringen die zijn doorgevoerd laten een aanmerkelijk verbetering zien op de zandgronden. Dit is te danken aan het verbeteren aan de verbeterde bodemfysische gegevens. Dit heeft echter nog niet geresulteerd in betere resultaten voor de eenheden met (zware) klei in het profiel. De wijziging in de bodemfysische eigenschappen heeft dit probleem wat we ook bij de eerste versies van de WWL zagen, nog niet opgelost.

Voor het vervolg van de WWL wordt aanbevolen om in te zetten op validatie. Een eerste stap wordt daarvoor nu gezet. De resultaten van deze stap zullen onder andere op de eerst volgende gebruikersdag in april 2021 gedeeld worden. Daar zullen ook volgende stappen worden geïdentificeerd om de WWL (nog) beter inzetbaar te maken.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

In dit rapport beschrijven we de verschillende onderdelen binnen Waterwijzer Landbouw (WWL) die in de loop van 2020 beschikbaar zijn gekomen. Dit betreft de vernieuwde WWL-metarelaties (versie 2.0.0) die naast de oudere versies kunnen worden gebruikt en vooral voor zandgronden realistischer resultaten opleveren tot en met de voorbeeldtoepassingen met de maatwerktool WWL-regionaal.

Waterwijzer Landbouw is het instrumentarium waarmee voor waterbeheerders en agrariërs een reproduceerbare kwantificering verkregen wordt van het effect van bijvoorbeeld waterhuishoudkundige maatregelen of klimaatverandering op landbouwkundige opbrengsten. Deze effecten worden uitgedrukt in termen van indirecte en directe effecten waarbij de directe effecten verder zijn uitgesplitst naar aandeel in droogte-, zuurstof- en/of zoutstress. Het betreft niet alleen langjarige gemiddelde resultaten voor landbouwopbrengst maar ook resultaten voor individuele weerjaren.

Veranderingen in hydrologische condities kunnen veroorzaakt worden door bijvoorbeeld waterbeheer, herinrichtingsprojecten, (drink)waterwinningen, maar ook door het klimaat. Waterwijzer Landbouw kan het effect van dergelijke veranderingen op landbouwschade inschatten, maar kan ook worden gebruikt voor het optimaliseren van de waterhuishouding op zowel lokale, regionale als nationale schaal. Ondanks dat Waterwijzer Landbouw is gebaseerd op complexe processen in het bodem-water-plant-atmosfeer systeem, is het toch eenvoudig toepasbaar.

WWL-METARELATIES EN WWL-TABEL

Door toepassing in pilots hebben we van verschillende gebruikers geleerd welke onduidelikheden er zijn, welke vragen de toepassing oproept en wat er verbeterd moet worden. Ook zijn ervaringen uitgewisseld tijdens de Waterwijzer Landbouw gebruikersmiddagen in 2019 en 2020. De eerste versies van de WWL-metarelaties (versie 1.0.0 en 1.1.0) en de WWL-tabel die van de metarelaties gebruik maakt vertoonden verschillende problemen waaronder:

- Te weinig droogtestress op voornamelijk zandgronden onder droge omstandigheden;
- Te veel droogtestress bij bodemeenheden met (zeer) zware klei in het bodemprofiel onder natte omstandigheden;
- Onvoldoende en daarmee niet realistische fluctuatie van grondwaterstanden als gevolg van de gehanteerde onderrandvoorwaarde voor het model;
- Te weinig berekening als gevolg van het gehanteerde beregeningscriterium.

In 2020 is een aantal verbeteringen doorgevoerd voor de metarelaties en de WWL-tabel die invloed hebben op bovenstaande problemen. De belangrijkste wijzigingen zijn:

- Er is gebruik gemaakt van bodemfysische gegevens van de nieuwe Staringreeks voor bovendien meerdere bodemprofielen;
- Er is gerekend met andere (flexibelere) randvoorwaarden voor het modelinstrumentarium op basis van meerdere drainagemiddelen en kwel/wegzijging;
- Het beregeningscriterium is aangepast waarbij de transpiratiereductie als criterium wordt gebruikt;
- Het compensatiemechanisme voor transpiratiereductie is toegepast waardoor de resultaten minder gevoelig worden voor de gesimuleerde wortelontwikkeling.

Door deze wijzigingen zijn de resultaten van de nieuwe WWL-metarelaties en dus ook de WWL-tabel verbeterd. De belangrijkste bevindingen zijn:

- De nieuwe metarelaties laten een aanzienlijke verbetering zien van de simulatie van droogtestress bij zandgronden. De toename van de droogtestress wordt voornamelijk veroorzaakt door de bodemfysische gegevens van de nieuwe Staringreeks;
- Er is een afname te zien van de zuurstofstress onder natte omstandigheden door het meenemen van maaiveld drainage.

Echter: de bodemeenheden met (zware) klei in het profiel laten ook bij de nieuwe WWL-metarelaties teveel droogtestress zien voor situaties onder natte omstandigheden. De wijziging in de bodemfysische eigenschappen heeft dit probleem wat we ook bij de eerste versies van WWL zagen niet opgelost. Deze problemen beperken zich niet alleen tot Waterwijzer Landbouw maar hebben ook betrekking op andere modeltoepassingen zoals het NHI en afgeleiden daarvan.

WWL-MAATWERK

Het gebruik van de WWL-tabel gaat gepaard met restricties en algemene aannames. De WWL-tabel kan bijvoorbeeld alleen worden toegepast voor de bodemkaart van Nederland schaal 1:50 000 en de bijbehorende bodemfysische eenheden en is beschikbaar voor vijf meteorostations. Met behulp van WWL-maatwerk is het mogelijk om voor een specifieke situatie een modelsimulatie die is gebruikt bij het opstellen van de database te selecteren en opnieuw te draaien. De inrichting van deze modelsimulatie is vervolgens niet meer gebonden aan vooraf opgelegde restricties en aannames. De gebruiker is vrij om bijvoorbeeld gebruik te maken van meteorologische condities die lokaal zijn gemeten en de hydrologische randvoorwaarden te veranderen. Dit noemen we maatwerk.

Om een dergelijke maatwerktoeepassing niet alleen voor één plek maar ook voor een gebied uit te kunnen voeren is WWL-regionaal ontwikkeld. Informatie over landgebruik, bodemtype en hydrologische condities kunnen hierbij worden ontleend aan informatie op regionale schaal zoals hydrologische modelberekeningen en lokale meteorostations. In dit rapport zijn drie pilotstudies beschreven met toepassing van zowel de WWL-tabel (waarbij de WWL-metarelaties 2.0.0 worden geraadpleegd) als WWL-maatwerk en WWL-regionaal. Daarmee illustreren we wat de verschillende opties opleveren en proberen we inzicht te verschaffen welk WWL-product het beste kan worden ingezet afhankelijk van de doelstelling van de studie.

In de pilotstudies is gebleken dat het gebruik van lokale meteorologische omstandigheden belangrijk kan zijn. Simulaties met meer of minder neerslag leiden direct tot een sterke toename dan wel afname van de droogtestress. Wat bovendien opvalt is dat de opbrengstderving onder natte hydrologische condities groter is wanneer de WWL-tabel wordt toegepast, terwijl WWL-maatwerk realistischere resultaten genereert. Een verklaring hiervoor is dat de WWL-tabel zuurstofstress te hoog inschat bij relatief natte voorjaars-omstandigheden in combinatie met zomercondities waarbij de grondwaterstand tot ongeveer 1 m-mv uitzakt.

AANBEVELINGEN

Gezien de geconstateerde verschillen in de resultaten bevelen we aan om WWL-regionaal toe te passen voor regionale studies om zo gebruik te maken van lokale en/of gedetailleerder invoergegevens. Voor een klein gebied is het relatief eenvoudig om verschillende (gevoeligheids-)analyses uit te voeren die inzicht geven in de onzekerheid van de gesimuleerde opbrengstderving.

Er heeft nog geen validatie van Waterwijzer Landbouw plaatsgevonden, terwijl het uitvoeren van een gedegen validatie van belang is om te kunnen bepalen wat de toepasbaarheid en bruikbaarheid van WWL is. De resultaten van de Groenmonitor lijken een goede mogelijkheid te bieden om validatie uit te voeren. Het is daarom onze aanbeveling om dit zo snel mogelijk te realiseren.

De veranderingen in de bodemfysische eigenschappen na de update van de Staringreeks hebben geen effect gehad op de berekende droogtestress bij kleigronden onder natte omstandigheden. Deze resultaten zijn dus vooralsnog niet realistisch. Totdat we verbeteringen hebben kunnen doorvoeren raden we aan om WWL niet te gebruiken voor kleigronden.

Tijdens de gebruikersdag in februari 2020 is de vraag gesteld om duidelijk te maken wanneer welk WWL-product het beste kan worden ingezet voor welke situatie. In een poging om de geboden informatie overzichtelijk te maken is in de onderstaande tabel een samenvatting gegeven van de kenmerken, het toepassingsbereik en de benodigde invoergegevens van de WWL-producten.

	WWL-tabel	WWL-regionaal	WWL-maatwerk
basis	WWL-metarelaties, gebaseerd op berekeningen met SWAP-WOFOST	Modelinstrumentarium SWAP-WOFOST en regionaal hydrologisch model	Modelinstrumentarium SWAP-WOFOST
Schaal toepassing	Nationaal en regionaal	Regionaal	Perceel/punt
bodemgegevens	Bodemfysische Eenhedenkaart BOFEK (NB: BOFEK bevat Staringreeks)	Regionaal beschikbare bodemgegevens of eventueel standaard bodemprofielen (368) + Staringreeks	één bodemprofiel
Hydrologische gegevens	Grondwaterstands-karakteristieken GHG en GLG	Tijdreeksen van grondwaterstanden en/fluxen	Tijdreeksen van grondwaterstand en/of flux
Meteorologische gegevens	Keuze uit 5 hoofdstations	Meteodata van elk gewenst weerstation	Meteodata van elk gewenst weerstation
Klimaatscenario's	Huidig weer (1981-2010) en Klimaatscenario Wh (2036-2065)	Alle opties zijn mogelijk	Alle opties zijn mogelijk
Gewassen	10 meest voorkomende gewassen	23 meest voorkomende gewassen	23 meest voorkomende gewassen

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

OPTIES BINNEN WATERWIJZER LANDBOUW IN 2020

VAN WWL-TABEL VERSIE 2.0.0 TOT MAATWERK MET WWL-REGIONAAL

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Modelinstrumentarium Waterwijzer Landbouw	1
1.3	Toetsing, pilotstudies en verbeterwensen	2
1.4	Opties binnen Waterwijzer Landbouw in 2020	3
1.5	Toepassing binnen Lumbricus	4
1.6	Leeswijzer	4
2	UPDATE WWL-METARELATIES 2.0.0 EN WWL-TABEL	5
2.1	Bodem	5
2.1.1	Bodemfysische eigenschappen	5
2.1.2	Bodemprofielen	6
2.2	Randvoorwaarden	7
2.3	Overige instellingen	9
2.3.1	Berekening	9
2.3.2	Compensatiemechanisme voor berekening stress voor gewassen	10
2.3.3	Landgebruik	10
2.4	Resultaten WWL-metarelaties	10
2.4.1	Toetsing dekking grondwaterstandskarakteristieken	10
2.4.2	Resultaten onder relatief droge en natte omstandigheden	13
2.5	Toepassing WWL-tabel	16

3	WATERWIJZER LANDBOUW MAATWERK	21
3.1	Pilotstudies	21
3.2	De Raam	22
3.2.1	Toepassen van WWL-tabel	22
3.2.2	Toepassing WWL-regionaal	26
3.2.3	Vergelijking resultaten	27
3.3	Rheezermaten	35
3.3.1	Toepassen WWL-tabel	35
3.3.2	Toepassen WWL-regionaal	40
3.3.3	Vergelijking referentiesituatie	43
3.3.4	Vergelijking effect hydrologische maatregelen	46
3.4	Mariapeel	48
3.4.1	Toepassen WWL-tabel	48
3.4.2	Toepassen WWL-regionaal	53
3.4.3	Vergelijking referentiesituatie	56
3.4.4	Vergelijking effect hydrologische maatregelen	60
4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	62
4.1	WWL-metarelaties	62
4.2	Maatwerk	62
4.3	Aanbevelingen	63
LITERATUUR	65	
BIJLAGE A	VERGELIJKING DINOLOKET	67
BIJLAGE B	RESULTATEN WWL-METARELATIES VERSIE 1.0.0	71
BIJLAGE C	INFORMATIE RHEEZERMATEN	73
BIJLAGE D	GEVOELIGHEIDSANALYSES ONDERRANDVOORWAARDE	75
BIJLAGE E	ANALYSE METARELATIE EN SWAP-RESULTATEN	77
BIJLAGE F	RESULTATEN WWL-TABEL VOOR PILOT RHEEZERMATEN	80
BIJLAGE G	VERSCHIL WWL-TABEL EN WWL-REGIONAAL VOOR EEN NAT EN DROOG JAAR VOOR RHEEZERMATEN	82

1

INLEIDING

In dit rapport beschrijven we de onderdelen binnen Waterwijzer Landbouw (WWL) die in de loop van 2020 beschikbaar zijn gekomen. Dit betreft de vernieuwde WWL-metarelaties (versie 2.0.0) die naast de oudere versies kunnen worden gebruikt en vooral voor zandgronden realistischer resultaten opleveren tot en met de voorbeeldtoepassingen met de maatwerktool WWL-regionaal. In deze inleiding beschrijven we kort wat achtergronden en de geschiedenis van WWL.

1.1 ACHTERGROND

Waterwijzer Landbouw is een uniforme, voor brede toepassing ontwikkelde en praktische methode voor het bepalen van klimaatbestendige relaties tussen waterhuishoudkundige condities (en veranderingen daarin) en gewasopbrengsten. Het is ontwikkeld door een consortium onder auspiciën van STOWA. Waterwijzer Landbouw ([Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018](#)) is de beoogde vervanging van haar voorlopers zoals HELP-tabellen (Werkgroep HELP-tabel, 1987; van Bakel et al., 2005; 2007), TCGB-tabellen (Bouwmans, 1990), Waternood (STOWA, 1999) en AGRICOM (van Bakel et al., 2009; Mulder et al., 2017). Hiermee krijgen waterbeheerders en agrariërs een reproduceerbare inschatting van het effect van waterhuishoudkundige maatregelen of klimaatverandering op landbouwkundige opbrengsten, in termen van indirecte en directe effecten waarbij de directe effecten verder zijn uitgesplitst naar aandeel in droogte-, zuurstof- en/of zoutstress. Het betreft niet alleen langjarige gemiddelden maar ook resultaten voor individuele weerjaren.

Veranderingen in hydrologische condities kunnen veroorzaakt worden door bijvoorbeeld waterbeheer, herinrichtingsprojecten, (drink)waterwinningen, maar ook door het klimaat. Waterwijzer Landbouw kan het effect van dergelijke veranderingen op landbouwschade inschatten, maar kan ook worden gebruikt bij het optimaliseren van de waterhuishouding op zowel lokale, regionale als nationale schaal. Ondanks dat Waterwijzer Landbouw is gebaseerd op complexe processen in het bodem-water-plant-atmosfeer systeem, is het toch eenvoudig toepasbaar.

1.2 MODELINSTRUMENTARIUM WATERWIJZER LANDBOUW

Om de gevolgen van klimatologische en/of waterhuishoudkundige veranderingen op het functioneren van planten te beoordelen moeten de essentiële processen die de wisselwerking tussen bodem, water, plant en atmosfeer beschrijven expliciet beschouwd worden. Hiervoor maakt Waterwijzer Landbouw gebruik van de gekoppelde procesmodellen SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant; Van Dam et al., 2008; Kroes et al., 2017) en WOFOST (World Food Studies; Van den Boogaard et al., 2011) waarin de wisselwerking tussen bodem, water, atmosfeer en gewasgroei is beschreven.

Met dit gedetailleerde modelinstrumentarium is voor de totstandkoming van de makkelijk toepasbare WWL-tabel een groot aantal simulaties uitgevoerd voor combinaties van de meest voorkomende gewassen en bodemtypen onder verschillende hydrologische en meteorologische omstandigheden. Op basis van deze simulaties zijn relaties afgeleid tussen grondwaterstandskarakteristieken GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) en GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) en de gewasopbrengst. Zo zijn uitkomsten uit de gedetailleerde procesmodellen eenvoudig toepasbaar gemaakt via metarelaties, samengevat in de WWL-tabel. Het projectresultaat van Waterwijzer Landbouw bestaat hiermee uit twee hoofdonderdelen:

- WWL-metarelaties: op basis van plotkenmerken als gewas, bodem en meteorologie in combinatie met grondwaterstandskarakteristieken kunnen de gewasopbrengsten per weerjaar worden bepaald. Deze zijn op de [website](#)¹ te vinden bij de Webversie en de WWL-tabel.
- Modelinstrumentarium: voor het uitvoeren van gedetailleerde berekeningen van gewasontwikkeling onder te droge, te natte en/of te zoute omstandigheden. Op de [website](#)¹ kan dit benaderd worden via WWL-regionaal en WWL-maatwerk.

1.3 TOETSING, PILOTSTUDIES EN VERBETERWENSEN

Het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST is getoetst aan praktijkgegevens en experimenten (Hack-ten Broeke et al., 2013; Kotters et al., 2017). Daarnaast zijn pilotstudies in Hoog en Laag Nederland uitgevoerd waarbij de resultaten van de WWL-metarelaties nader zijn geanalyseerd (Heinen et al., 2017; Mulder et al., 2019). Door toepassing in pilots leren we van verschillende soorten gebruikers welke onduidelijkheden er zijn, welke vragen de toepassing oproept en wat er verbeterd moet worden. Op zo'n manier dragen pilots bij aan verbetering van Waterwijzer Landbouw en raken toekomstige gebruikers bekend met de mogelijkheden en beperkingen ervan. Ook zijn ervaringen uitgewisseld tijdens de Waterwijzer Landbouw gebruikersmiddagen in 2019 en 2020. Na de oplevering in 2018 van de eerste versies van de WWL-metarelaties (versie 1.0.0 en 1.1.0) werden verschillende problemen geconstateerd, waaronder:

- Te weinig droogtestress op voornamelijk zandgronden onder droge omstandigheden;
- Te veel droogtestress bij bodemeenheden met (zeer) zware klei in het bodemprofiel onder natte omstandigheden;
- Onvoldoende fluctuatie van grondwaterstanden als gevolg van de gehanteerde onderrandvoorwaarde voor het model;
- Te weinig berekening als gevolg van het gehanteerde berekeningscriterium.

Nader onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat het probleem grotendeels wordt veroorzaakt door de invoergegevens voor het modelinstrumentarium, waaronder bodemfysische parameters, profielkeuze en waterhuishoudkundige randvoorwaarden. Door de aansturing van het modelinstrumentarium anders in te richten is een deel van de bovenstaande problemen in versie 2.0.0 opgelost.

De simulatie van te weinig of teveel droogtestress verdient een nadere toelichting. Of en wanneer een gewas droogte ervaart wordt vooral bepaald door de beschikbaarheid van water in de wortelzone. Die beschikbaarheid wordt onder meer bepaald door de dikte van de wortelzone, het watervasthoudend vermogen en het waterdoorlatend vermogen van de bodem. Deze bodemfysische eigenschappen (de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken) zijn in het verleden met inmiddels verouderde data en methodes bepaald (Wösten et al., 1987; 1994; 2001). Nadere verkenningen hebben duidelijk gemaakt dat wanneer we

¹ <https://waterwijzerlandbouw.wur.nl/>

gebruik maken van recent gemeten karakteristieken (Heinen et al., 2020) dit in veel gevallen leidt tot andere inschattingen van droogteschade. De problemen met te weinig droogtestress bij zandgronden zijn daarmee grotendeels verholpen. Voor bodemeenheden met (zeer) zware klei in het bodemprofiel bleken de gewijzigde bodemfysische eigenschappen niet te leiden tot minder droogtestress onder natte omstandigheden. Er is vervolgens nagegaan of de bodemfysische eigenschappen beter door andere modelbeschrijvingen of door een andere manier van afleiden zou kunnen plaatsvinden. Dat leidde echter niet tot andere resultaten. Voor dergelijke gronden moeten we dus nog op zoek naar een andere oplossing.

Het mag duidelijk zijn dat niet alle problemen die worden ondervonden bij het toepassen van Waterwijzer Landbouw in één keer kunnen worden opgelost. Wel laat Waterwijzer Landbouw zien dat, door de gekozen opzet van het instrumentarium, de problemen die worden ondervonden terug te herleiden zijn naar de bron (hetzij invoergegevens, hetzij de procesbeschrijving in het model). Alleen door verbeteringen door te voeren daar waar de problemen ontstaan, is het mogelijk om een juiste wisselwerking tussen bodem, water, plant en atmosfeer te simuleren. Een juiste simulatie van deze wisselwerking en juiste invoergegevens, beperkt zich niet alleen tot Waterwijzer Landbouw maar heeft juist ook betrekking op andere modeltoepassingen zoals het NHI en afgeleiden daarvan, omdat die van dezelfde basisgegevens gebruik maken.

1.4 OPTIES BINNEN WATERWIJZER LANDBOUW IN 2020

Waterwijzer Landbouw bestaat zoals gezegd uit verschillende onderdelen of eigenlijk opties voor toepassing, die verschillen in gebruiksgemak maar natuurlijk ook in detail en onderscheidingsvermogen van de resultaten.

De WWL-metarelaties van Waterwijzer Landbouw kunnen relatief eenvoudig worden benaderd met de [WWL-tabel](#). Hiermee is het mogelijk om relatief snel inzicht te krijgen hoe de opbrengstderving gedurende de klimaatperioden 1981-2010 en 2036-2065 (periode met het Wh-klimaatsscenario) reageert voor een groot aantal gewassen onder uiteenlopende bodemkundige, hydrologische en meteorologische condities. De hydrologische condities worden gekarakteriseerd door de GHG en GLG.

Om meer grip te krijgen op de modelresultaten is het mogelijk om over te gaan op een maatwerktoeepassing met [WWL-maatwerk](#). Voor een specifieke situatie wordt dan het modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST) opnieuw gedraaid. Door modelinstellingen en invoergegevens aan te passen is het mogelijk om beter aan te sluiten op de lokale omstandigheden. Zo kan er gebruik worden gemaakt van lokale meteogegevens, bodemfysica en het grondwaterstandsverloop en kan het modelinstrumentarium worden gedraaid voor een recentere periode.

Maatwerk op het niveau van stroomgebieden is mogelijk met de [WWL-regionaal](#) toepassing. Hierbij wordt informatie gebruikt over het landgebruik, bodemtype en een gedetailleerd grondwaterstandsverloop. Hiermee is het mogelijk om aan te sluiten op informatie afkomstig van regionale hydrologische modelberekeningen (zoals bijvoorbeeld 14-daagse grondwaterstandsgegevens).

Doordat het modelinstrumentarium de modeluitvoer op dag-basis levert is het mogelijk om het grondwaterstandsverloop en/of de vochtcondities te toetsen aan eventuele metingen die zijn gedaan in het veld. Daarnaast is het mogelijk om analyses te doen binnen het groei-

seizoen, hiermee kan bijvoorbeeld worden gekeken naar het effect van een korte periode met extreme neerslag of een langdurige droge periode op de gewasontwikkeling.

1.5 TOEPASSING BINNEN LUMBRICUS

Verderop in dit rapport laten we een aantal voorbeeldtoepassingen zien met WWL-regionaal, zoals die hebben plaatsgevonden binnen het onderzoeksprogramma Lumbricus.

Daarmee maakt het onderzoek dat in dit rapport is beschreven onderdeel uit van het thema Bewuste Bodem van het onderzoeksprogramma Lumbricus² (looptijd 2016-2020). Lumbricus is een samenwerkingsprogramma met onderzoeksinstituten en regionale partijen, waarin doelstellingen met betrekking tot waterkwaliteit, zoetwatervoorziening, bodembeheer, klimaatadaptatie en waterveiligheid samenkomen. Kern van het programma Lumbricus is het ontwikkelen en implementeren van een klimaatrobuust bodem- en watersysteem door het op stroomgebiedsniveau geïntegreerd toepassen van innovatieve maatregelen op het gebied van bodem, ondergrond en water. Het Lumbricus-thema Bewuste Bodem richt zich op de bodem als sleutel in vocht- en nutriëntenvoorziening voor landbouw en natuur en op een duurzaam bodem- en waterbeheer voor een gezonde bodem in relatie tot gebruiksfuncties. Het thema richt zich met name op de effectiviteit van hydrologische en bodemmaatregelen op perceelsniveau en de verbetering van modellen om de effectiviteit te kunnen beoordelen.

1.6 LEESWIJZER

Hoofdstuk 2 gaat in op de wijzigingen die hebben plaatsgevonden bij het afleiden van de nieuwe WWL-metarelaties. Daarbij wordt het verloop van de gesimuleerde grondwaterstanden vergeleken met metingen en wordt een overzicht gegeven in de resultaten onder relatief natte en droge omstandigheden. Ook wordt in hoofdstuk 2 de WWL-tabel toegepast in het pilotgebied Rheezermaten en wordt er een vergelijking gemaakt tussen resultaten verkregen met de oude en nieuwe WWL-metarelaties.

Hoofdstuk 3 beschrijft de toepassing van WWL-regionaal aan de hand van drie pilotstudies voor de gebieden De Raam, Rheezermaten en Mariapeel.

In het laatste hoofdstuk vatten we samen wat de verbeteringen en aanvullingen voor Waterwijzer Landbouw in 2020 zijn geweest. Tevens besteden we in dit laatste hoofdstuk aandacht aan de vraag wanneer je welk product moet gaan gebruiken in afhankelijkheid van de onderzoeksvraag. In het algemeen kan gesteld worden dat een eerste inschatting van effecten op landbouw wordt verkregen met de WWL-tabel en dat voor meer detail gebruik kan worden gemaakt van WWL-maatwerk of WWL-regionaal. Aan de hand van de voorbeeldstudies hopen we dat duidelijker wordt wanneer welke keuze voor de hand ligt.

² <https://www.programmalumbricus.nl/>

2

UPDATE WWL-METARELATIES 2.0.0 EN WWL-TABEL

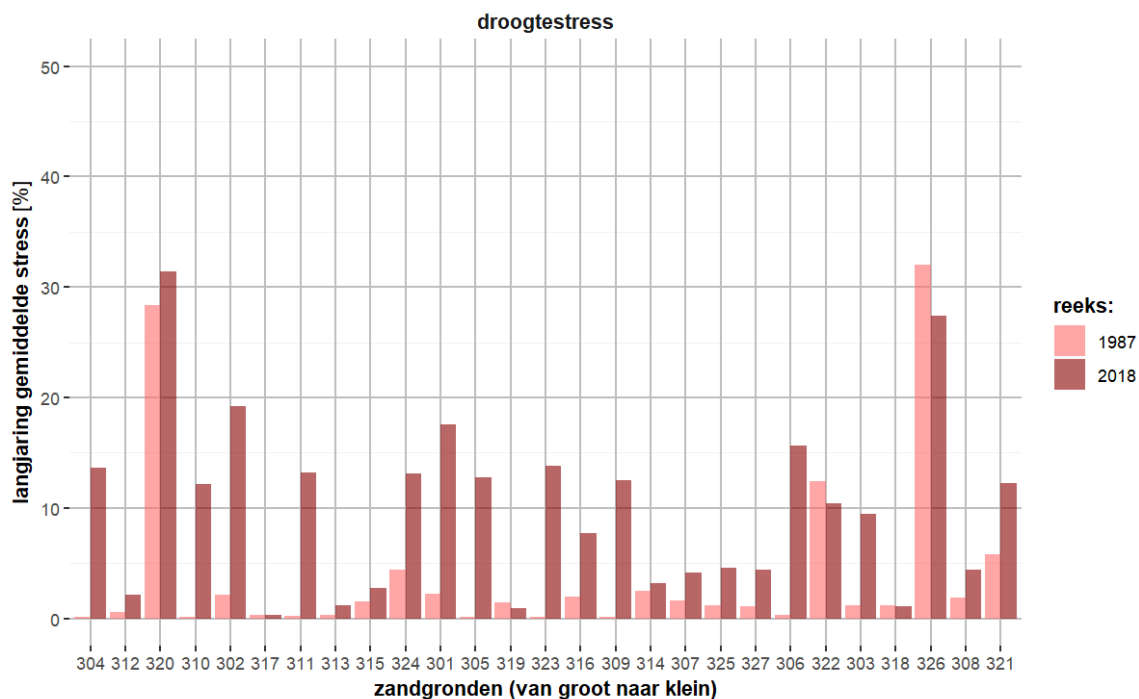
In dit hoofdstuk beschrijven we wat er is veranderd aan de WWL-tabel. Deze is gebaseerd op vernieuwde metarelaties. Ten opzichte van de voorgaande WWL-metarelaties (versie 1.0.0 en 1.1.0) is de aansturing van het modelinstrumentarium op een aantal fronten aangepast.

2.1 BODEM

2.1.1 BODEMFYSISCHE EIGENSCHAPPEN

Na de oplevering van de voorgaande versies van de WWL-metarelaties zijn verschillende problemen geconstateerd met betrekking tot de simulatie van droogtestress. Nadere verkenningen hebben duidelijk gemaakt dat wanneer we gebruik maken van recent gemeten Staringreeks karakteristieken (Heinen et al., 2020) dit in veel gevallen leidt tot andere inschattingen van droogteschade. De problemen met te weinig droogtestress bij zandgronden lijken daarmee grotendeels verholpen te zijn, zie Figuur 2.1.

FIGUUR 2.1 EFFECT UPDATE STARINGREEKS (VERSIE 2018) OP DE DROOGTESTRESS BIJ GRASLAND ONDER RELATIEF DROGE OMSTANDIGHEDEN VOOR ZANDGRONDEN GESORTEERD VAN LINKS NAAR RECHTS NAAR VOORKOMEN IN NEDERLAND (DE NUMMERS VAN DE ZANDGRONDEN VERWIJZEN NAAR DE EENHEDEN VAN DE [BOFEK2012](#))



Voor deze vergelijking zijn modelsimulaties geselecteerd die gebruikt zijn bij het afleiden van voorgaande WWL-metarelaties (versie 1.0.0). De selectie betreft simulaties met grasland (intensief maaibeheer) onder relatief droge omstandigheden (Gt VI en Gt VII). Elke simulatie is opnieuw doorerekend met een update van de Staringreeks waarbij opnieuw de droogtestress is bepaald. Omdat de herberekening kan leiden tot verandering in de gesimuleerde grondwaterstandskarakteristieken (GHG en GLG) is de droogtestress voor de oude situatie opnieuw bepaald met behulp van de WWL-tabel.

2.1.2 BODEMPROFIELEN

Op basis van de [Bodemkaart van Nederland](#)³ schaal 1:50.000 zijn 370 bodemkundige profiel-schetsen beschikbaar. Dit betreffen beschrijvingen van het bodemprofiel tot 1.2 m-mv waaraan per bodemlaag bodemfysische bouwstenen (van de Staringreeks) zijn gekoppeld. Daarnaast wordt er bijgehouden wat het dominante landgebruik is (waarbij onderscheid wordt gemaakt in grasland, akkerbouw, natuur of bos). De [Bodemfysische Eenhedenkaart \(BOFEK2012\)](#) (Wösten et al., 2013), waar Waterwijzer Landbouw gebruik van maakt, betreft een clustering van deze 370 bodemprofielen op basis van fysisch gedrag. Dit heeft geresulteerd in een clustering tot 72 eenheden.

Bij Waterwijzer Landbouw was tot nu toe telkens de meest voorkomende bodemeenheid in zo'n cluster leidend voor de keuze van het bodemprofiel waarvoor werd gerekend. Soms betekende dat een keuze voor een bodemprofiel dat kenmerkend is voor natuur of bos als landgebruik. Bij het opnieuw afleiden van de WWL-metarelaties is nu rekening gehouden met het landgebruik. Bevat een BOFEK2012-eenheid alle landgebruiksvormen dan zal voor de graslandsimulaties het bodemprofiel worden gekozen met het grootste areaal aan grasland. Voor de akkerbouw en groenteteelt simulaties wordt gekozen voor het bodemprofiel met het grootste areaal aan akkerbouw. Dat betekent dus dat er voor sommige BOFEK2012-eenheden met meerdere profielen is gerekend. Als er binnen de betreffende BOFEK2012-eenheid een landgebruiksvorm ontbreekt dan zal de voorkeur uitgaan naar een meest voorkomend grasland of akkerbouw bodemprofiel en bij voorkeur niet een profiel met natuur of bos. Voor de BOFEK2012-eenheden 301, 326 en 401 zijn geen landgebruiksvormen van grasland of akkerbouw beschikbaar. Voor deze eenheden kan dus alleen maar worden gekozen uit een profiel met bos of natuur. Hoewel ook voor deze profielen is gerekend, is het onwaarschijnlijk dat er in de praktijk op deze profielen landbouw wordt bedreven.

Voor de berekeningen ten behoeve van nieuwe WWL-metarelaties is dus voor een aantal BOFEK2012-eenheden extra onderscheid gemaakt naar landgebruik en voor meerdere bodemprofielen gerekend. In totaal betreft dit 104 bodemprofielen waarvoor de metarelaties opvraagbaar zijn via de WWL-tabel.

Voor de nieuwe WWL-metarelaties is dus gebruik gemaakt van de nieuwe Staringreeks gekoppeld aan de BOFEK2012. In 2020 zal in het kader van het investeringsplan voor het NHI een nieuwe geactualiseerde BOFEK2020 worden afgeleid op basis van zowel de nieuwe Staringreeks als de geactualiseerde bodemkaart. In de toekomst zal ook Waterwijzer Landbouw van die verbeterde BOFEK2020 gebruik gaan maken. Voor de metarelaties 2.0.0 is dat dus nog niet het geval.

3 <https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/modellen/bodemkaart-nederland>

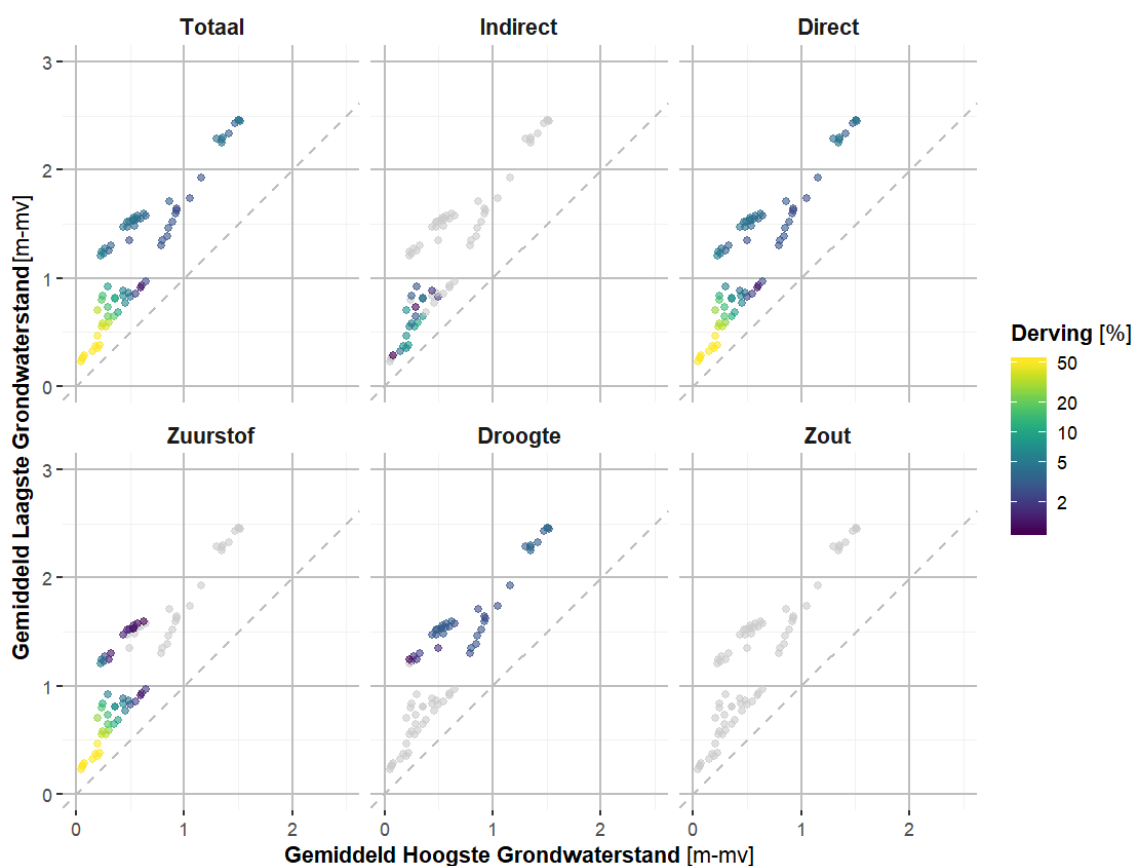
2.2 RANDVOORWAARDEN

Bij het afleiden van de eerste WWL-metarelaties (versie 1.0.0 en 1.1.0) is gebruik gemaakt van de onderrand waarbij de verticale waterflux aan de onderzijde van de bodemkolom afhankelijk is van de grondwaterstand (de zogenaamde $Q(h)$ relatie). Hierbij treden geen drainage- en infiltratiefluxen over de zijrand op, maar zijn deze verwerkt in de onderrandflux. Aan de hand van deze aansturing zijn realisaties verkregen voor alle Gt-klassen. Nader onderzoek laat echter zien dat er, met name onder droge omstandigheden, te weinig dynamiek werd gesimuleerd. De $Q(h)$ relaties betreffen exponentiële relaties waarbij de drainageweerstand afneemt als de grondwaterstand stijgt. Dit leidt tot een afgetopt grondwaterstandsverloop.

Bij het afleiden van de nieuwe WWL-metarelaties is gekeken naar ervaringen uit studies als STONE⁴, hydrologie op basis van karteerbare kenmerken (van der Gaast et al., 2007) en het NHI⁵. Het SWAP-WOFOST modelinstrumentarium wordt hierbij telkens mede aangestuurd met drainagemiddelen als randvoorwaarde.

In een eerste poging bij het opnieuw inrichten van de SWAP-WOFOST simulaties zijn instellingen van de randvoorwaarden overgenomen vanuit het STONE model. Voor elke simulatie zijn vervolgens de grondwaterstandskarakteristieken en de opbrengstderving bepaald, zie Figuur 2.2.

FIGUUR 2.2 REALISATIES VAN SWAP-WOFOST OP BASIS VAN STONE INSTELLINGEN IN HET GHG-GLG DOMEIN; MATE VAN OPBRENGSTDerving IS MET KLEUR AANGEGEVEN



4 <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/Faciliteiten-Producten/Software-en-modellen/STONE/Over-STONE.htm>

5 <http://nhi.nu/>

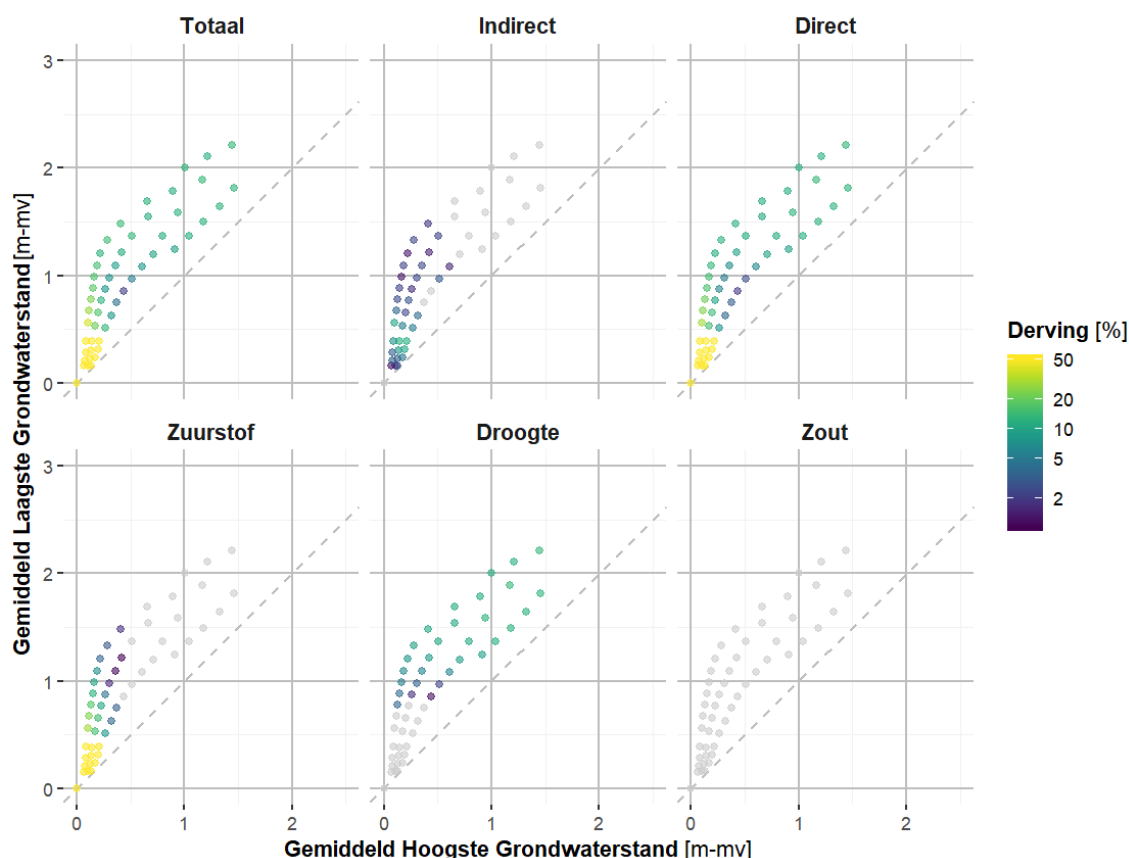
In de figuur is een aantal clusters van simulaties te zien. Clustering van simulaties zijn eigenlijk niet gewenst omdat het onnodige herhalingen zijn, terwijl we liever het hele domein bestrijken. Ondanks dat de simulaties vergelijkbare grondwaterstands-karakteristieken hebben, kan de opbrengstderving in deze clusters behoorlijk verschillen. Dit wordt veroorzaakt doordat er een mix is van verschillende hydrologische systemen (snel versus langzaam reagerend, met of zonder buisdrainage). Bij het afleiden van metarelaties leidt dit tot ongewenste effecten. Maken we bijvoorbeeld een doorsnede in het GHG-GLG domein voor droogtestress dan verwachten we een monotoon stijgende derving naarmate het droger wordt. Op basis van deze simulaties is dat niet het geval. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het voorspellende vermogen tot het inschatten van de opbrengstderving op basis van alleen de grondwaterstandskarakteristieken lastig is. Informatie over bijvoorbeeld het hydrologische systeem toevoegen bij het afleiden van de metarelaties kan, maar vergt ook meer informatie bij het bevragen van de metarelatie. Omdat we nu metarelaties afleiden die worden aangestuurd met grondwaterstandskarakteristieken moeten we bepaalde eisen stellen aan de aansturing van het modelinstrumentarium. In dit geval hebben we gekozen voor een geleidelijk verloop in randvoorwaarden.

Voor het instellen van de randvoorwaarden is gekeken naar eerder uitgevoerde landelijke studies zoals STONE (Kroes et al., 2001) en Hydrologie op basis van Karteerbare Kenmerken (van der Gaast et al., 2007)⁶. Voor het afleiden van nieuwe WWL-metarelaties maken we onderscheid in 3 drainagesystemen: primair, secundair en maaiveld drainage. Onder natte omstandigheden gaan we uit van relatief korte slootafstanden (240 m voor primair; en 30 m voor secundair). De drooglegging is dan gering (15 cm in de zomer en 17 cm in de winter) en er is een constante kwelflux van 1.5 mm d-1. Onder droge omstandigheden gaan we uit van juist grote slootafstanden (4000 m voor primair; 1000 m voor secundair) met dus een grote drooglegging (1.4 m in de zomer en 1.7 m in de winter) en een constante wegzijging van 0.8 mm d-1. De drainage- en infiltratie weerstanden zijn bepaald als functie van de slootafstanden (0.25, 0.5, 1.0 en 2.0 maal de slootafstand). Voor elke combinatie van landgebruik, bodemtype en meteorologische condities leidt dit tot 50 simulaties, zie Figuur 2.3.

6 Voor het creëren van extreem natte omstandigheden is hiervan afgeweken omdat deze situaties niet zullen voorkomen in de praktijk. Wel zullen de WWL-metarelaties ook voor deze niet realistische situaties een resultaat moeten opleveren. Modelrealisaties in dit GxG-domein zijn dus een vereiste.

FIGUUR 2.3

REALISATIES VAN SWAP-WOFOST MET EEN GELEIDELIJK VERLOOP IN RANDVOORWAARDEN IN HET GHG-GLG DOMEIN; MATE VAN OPBRENGSTDERIVING WORDT MET KLEUR AANGEGEVEN



In het GHG-GLG domein is één hulppunt toegevoegd, namelijk met een GHG en GLG van 0 m-mv. Op voorhand is daarvan duidelijk dat er sprake is van 100% opbrengstderiving.

2.3 OVERIGE INSTELLINGEN

2.3.1 BEREKENING

Uit pilotstudies die zijn uitgevoerd in Laag Nederland (Mulder et al., 2019) is geconstateerd dat de gehanteerde beregeningscriteria herzien moesten worden. Het aansturen met een goed drukhoogtecriterium blijkt lastig te zijn, er is in dat geval kennis nodig van zowel de drukhoogte als van de diepte waarop deze moet worden 'gemonitord' in het model. Het aansturen van de berekening op basis van de transpiratiereductie die wordt gesimuleerd lijkt een betere optie. Dit heeft als voordeel dat er impliciet wordt gekeken naar de hydrologische condities in de gehele wortelzone. Er wordt dus direct gestuurd op wat het gewas aan droogtestress ondervindt. Bij het afleiden van nieuwe WWL-metarelaties wordt een transpiratiereductie als gevolg van droogtestress van 15% toegestaan voordat een beregeningsgift van 20 mm wordt toegekend. Na de beregeningsgift wordt gedurende 7 dagen geen nieuwe beregeningsgift gegeven in de modelberekeningen. Er wordt geen rekening gehouden met mogelijke neerslag op de dag dat berekening wordt toegepast.

Bij het afleiden van nieuwe WWL-metarelaties is ervoor gekozen om de mogelijkheid tot berekening op alle gewassen toe te passen.

2.3.2 COMPENSATIEMECHANISME VOOR BEREKENING STRESS VOOR GEWASSEN

De transpiratiereductie als gevolg van droogtestress is afhankelijk van de gesimuleerde drukhoogte. De drukhoogte kan sterk variëren met de diepte, bijvoorbeeld bij minder doorlatende bodems met ondiepe grondwaterstanden of bij beregening. In die omstandigheden zijn planten in staat verminderde vochtopname in de droge delen van de wortelzone te compenseren met extra vochtopname in vochtiger delen van diezelfde wortelzone. SWAP biedt de mogelijkheid om rekening te houden met deze ‘compensatie’ (Jarvis, 2011).

Voor te natte en te zoute omstandigheden treden andere vergelijkbare compensatiemechanismen in werking. Om die reden is deze compensatie-methode zowel ingesteld bij droogte als bij zuurstof- en zoutstress. Dit heeft als voordeel dat de simulaties minder gevoelig worden voor de opgelegde dikte van de wortelzone en de bijbehorende opgelegde worteldichtheidsfunctie waarover veel onzekerheid bestaat.

2.3.3 LANDGEBRUIK

In de meeste regionale studies wordt maar een beperkt aantal gewassen gebruikt. Er is daarom gekozen om de gewassenlijst te beperken tot tien gewassen, zie *Tabel 2.1*. Er worden vooralsnog geen nieuwe WWL-metarelaties afgeleid voor zomergerst, pootaardappelen, groenteteelt en lelies.

TABEL 2.1

BEPERKTE GEWASSENLIJST (VERSIE 2.0.0)

Gewas	
<i>Veeteelt</i>	<i>Bollen</i>
Grasland (maaïen)	Tulp
Grasland (beweiden)	
Snijmais	<i>Akkerbouw</i>
	Wintertarwe
<i>Boomteelt</i>	Aardappelen
Appelbomen	Suikerbieten
Laanbomen	Zaaiuien

Alle landbouwkundige landgebruiksvormen van het LGN7 en het LHM (Landelijk Hydrologisch Model) worden vertaald naar één deze Waterwijzer Landbouw-gewassen (zie [website](#)¹ voor meer informatie). Daarnaast zijn voor grasland twee uiterste vormen van beheer in acht genomen, namelijk intensief maaïen en volledige beweiding. Voor maatwerktoeepassingen blijven alle gewassen gewoon beschikbaar.

2.4 RESULTATEN WWL-METARELATIES

2.4.1 TOETSING DEKKING GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN

Bij de ontwikkeling van Waterwijzer Landbouw is in fase 2 van de ontwikkeling van het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST getoetst aan praktijkgegevens (Hack-ten Broeke et al., 2013). Omdat we bij het afleiden van de nieuwe WWL-metarelaties de randvoorwaarden van SWAP-WOFOST op een andere manier hebben ingericht richten we de onderstaande toetsing op de gerealiseerde grondwaterstands-karakteristieken GHG en GLG.

Om een beeld te krijgen van de werkelijke grondwaterstandsverlopen en de daaruit af te leiden grondwaterstandskarakteristieken is gebruik gemaakt van informatie uit het [DINOloket](#)⁷. Voor de selectie aan peilbuizen is gebruik gemaakt van ervaringen uit voorgaande studies (Van Bracht, 1988; Hoogland et al., 2014).

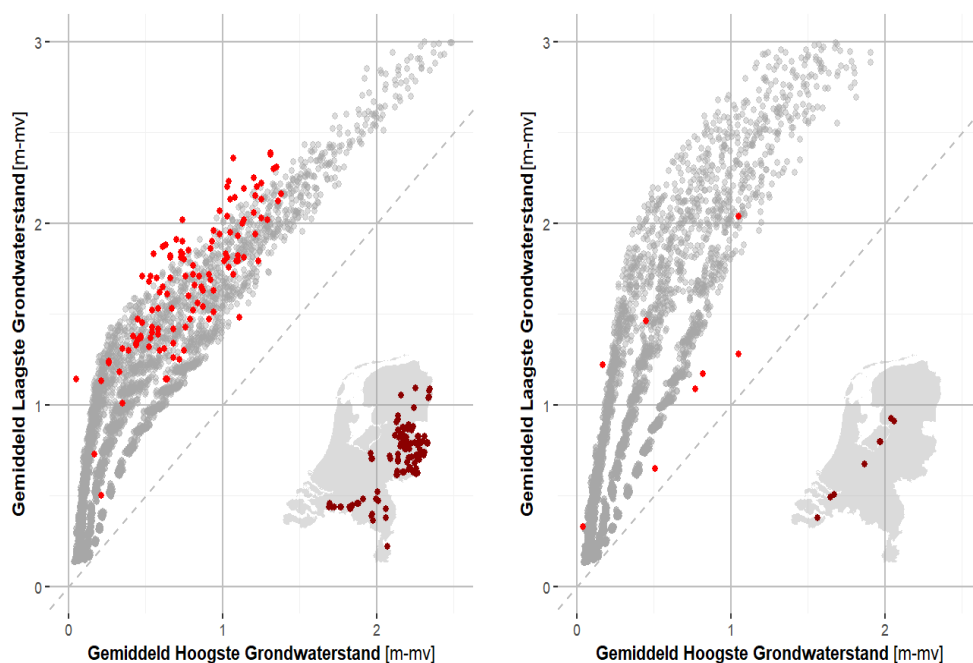
Voor deze set aan peilbuizen zijn alle grondwaterstandsmetingen opgevraagd bij het DINOloket voor de periode 1981-2010. Voor het gebruik van de grondwaterstandsmetingen is een aantal eisen gesteld:

- Locatie van de peilbuis en de filterstelling, zo mag een peilbuis niet te dicht bij een watergang liggen en moet de freatische grondwaterstand zijn gemeten;
- Alleen peilbuizen met een landbouwkundig bodemgebruik;
- Grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG moeten zijn af te leiden;
- Geen uitschieters in de meetreeks.

Voor het afleiden van grondwaterkarakteristieken wordt over het algemeen een periode van 8 jaar gebruikt (Knibbe et al., 1961; van der Sluijs et al., 1976). Voor deze analyse gebruiken we daarom eenzelfde minimale lengte van de tijdreeks. Hierbij wordt een range aangehouden van 5 dagen ten opzichte van de 14e en 28e dag van de maand en een bedekkingsgraad van 90% over de gehele periode.

Dit levert uiteindelijk een selectie op van 276 peilbuizen verspreid over Nederland. In eerste instantie kan hiermee een vergelijking worden gemaakt van het bereik in het GHG-GLG domein. Figuur 2.4 geeft hier een voorbeeld van, waarbij voor de meest voorkomende zandgrond (BOFEK2012 304) en kleigrond (BOFEK2012 418) de gemeten en gesimuleerde grondwaterstandskarakteristieken zijn weergegeven. In bijlage A is dit ook weergegeven per grondsoort.

FIGUUR 2.4 BEREIK VAN DINO PEILBUISGEGEVENS (ROOD) EN SWAP-WOFOST SIMULATIES (GRIJS) IN HET GHG-GLG DOMEIN; LINKS VOOR ALLE PEILBUIZEN OP ZWAK LEMIGE (PODZOL-)GRONDEN (BOFEK2012 304) EN RECHTS VOOR ALLE PEILBUIZEN OP ZWARE ZAVEL HOMOGEEF PROFIEL (BOFEK2012 418)



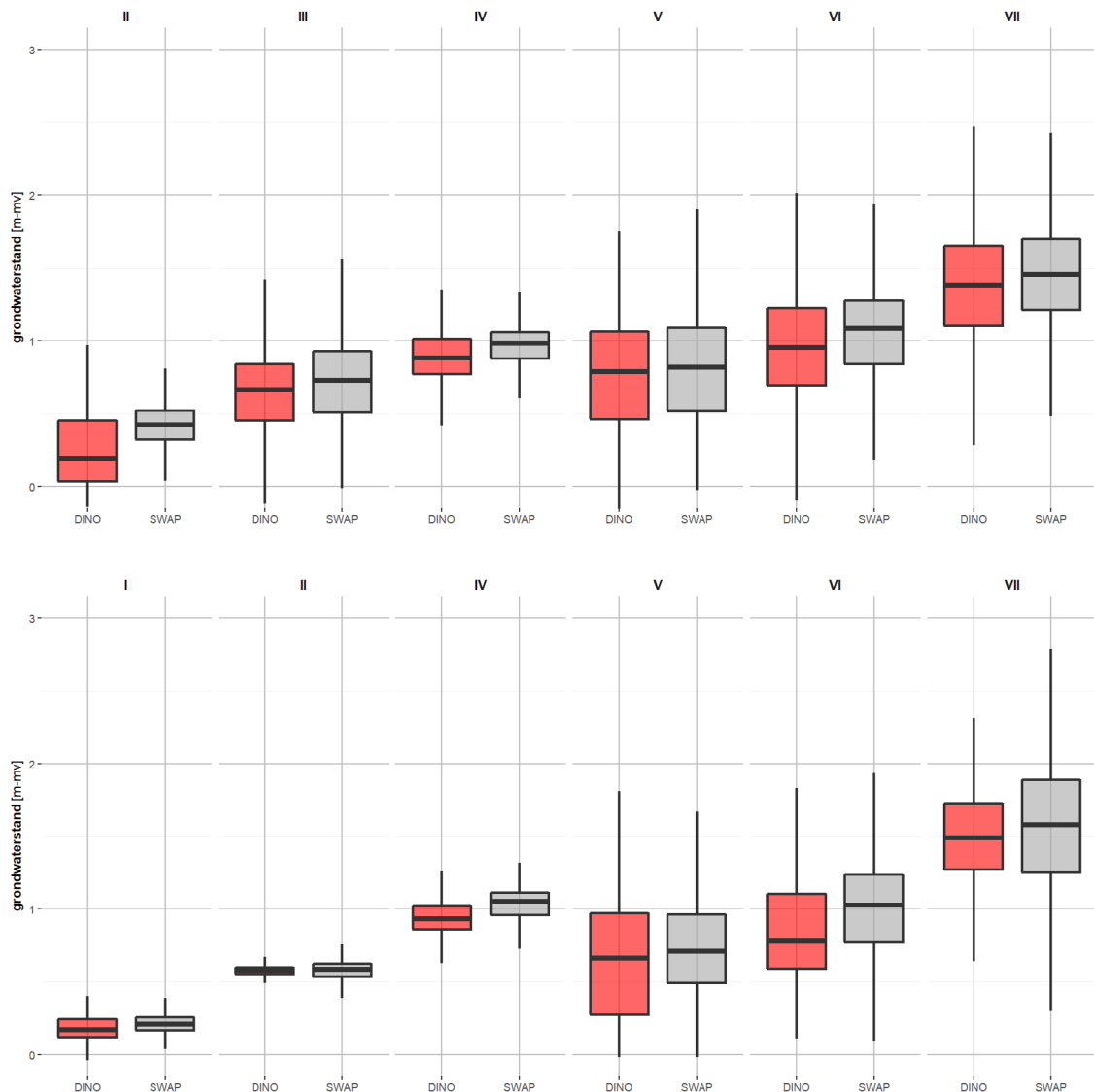
⁷ <https://www.dinoloket.nl/>

Hierin is te zien dat het bereik van de gemeten en gesimuleerde grondwaterstandskarakteristieken redelijk met elkaar overeenkomt. Voor zwak lemige zandgronden lijkt er onder droge omstandigheden iets meer dynamiek te zijn in de metingen en bij de zware zavelgronden is er juist sprake van minder dynamiek.

Daarnaast is het mogelijk om een vergelijking te maken die meer is gericht op het verloop van de grondwaterstand (en dus niet zozeer de grondwaterstands-karakteristieken). Hiermee wordt meer inzicht verschaft hoe de grondwaterstand onder bijvoorbeeld extreem droge of natte situaties verloopt. Voor deze vergelijking moeten metingen van peilbuis gekoppeld worden aan één of meerdere simulaties.

De koppeling is hierbij gebaseerd op de grondwaterstandskarakteristieken (koppeling tussen de rode en grijze punten van Figuur 2.4). Alle simulaties worden geselecteerd binnen 10 cm afstand van de gemeten grondwaterstandskarakteristieken, indien er niets wordt gevonden wordt de dichtstbijzijnde simulatie gekoppeld. De resultaten voor de meest voorkomende zand- en kleigrond zijn weergegeven in Figuur 2.5, in bijlage A is dit ook weergegeven per grondsoort.

FIGUUR 2.5 VERGELIJKING VAN DYNAMIEK ONDER VERSCHILLENDE HYDROLOGISCHE OMSTANDIGHEDEN (GT-KLASSEN); MET IN HET ROOD DE DYNAMIEK DE DINO PEILBUISGEGEVENS EN IN HET GRIJS DE SWAP-WOFOST SIMULATIES; BOVEN VOOR ALLE PEILBUIZEN OP ZWAK LEMIGE (PODZOL-)GRONDEN (BOFEK2012 304) EN ONDER VOOR ALLE PEILBUIZEN OP ZWARE ZAVEL HOMOGEEF PROFIEL (BOFEK2012 418)



De spreiding in de gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden zijn weergegeven in zogenaamde boxplots per Gt-klasse, zie Figuur 2.5. Het is goed om te beseffen dat er geen sprake is van een zuivere vergelijking. Zo is er bijvoorbeeld geen informatie over wisseling van het landgebruik door de jaren heen en kunnen de meteorologische condities lokaal afwijken. Maar de vergelijking geeft wel een beeld van de overlap in de gemeten en gesimuleerde dynamiek onder verschillende hydrologische omstandigheden.

2.4.2 RESULTATEN ONDER RELATIEF DROGE EN NATTE OMSTANDIGHEDEN

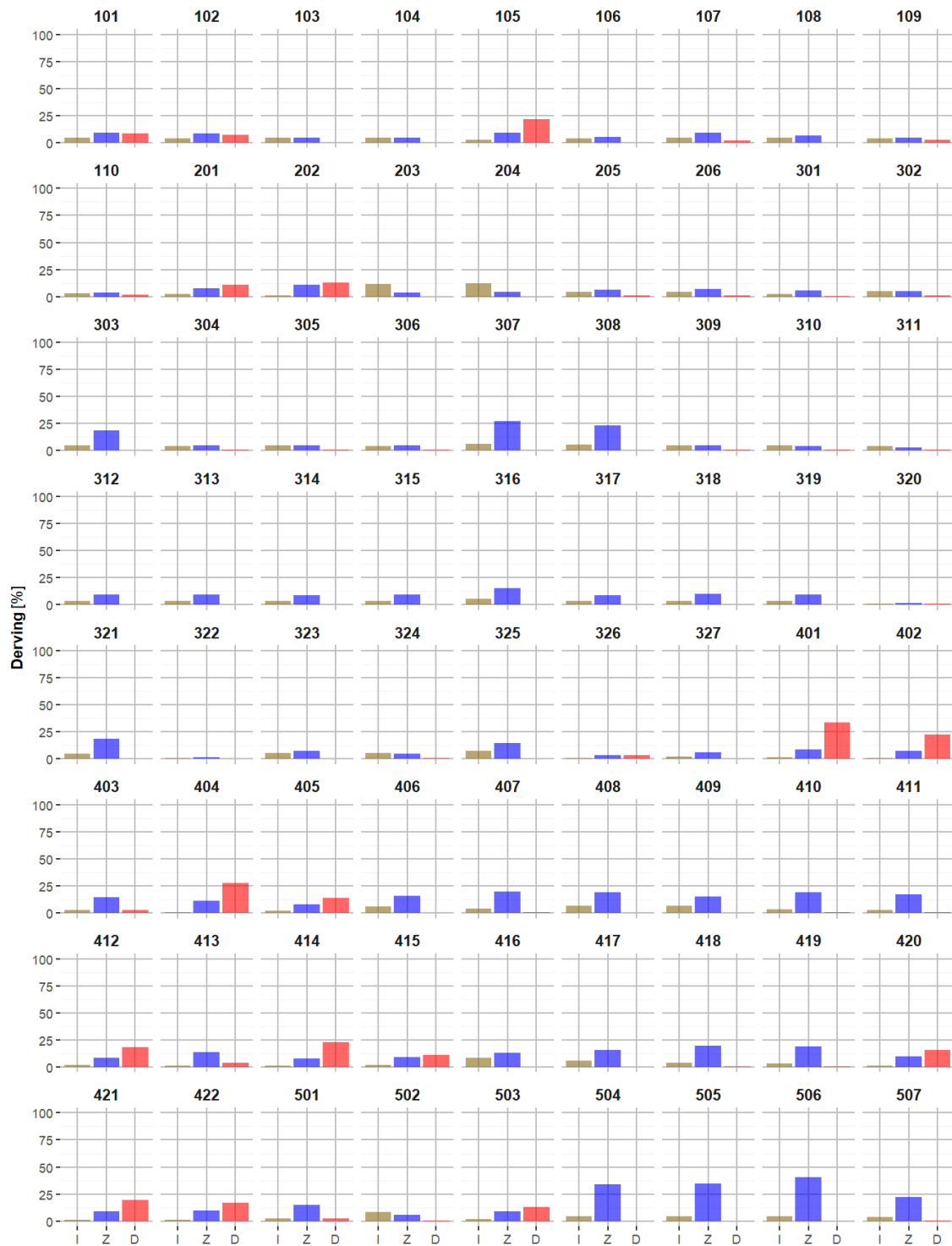
In deze sectie kijken we naar de resultaten van de nieuwe WWL-metarelaties onder relatief natte en droge hydrologische omstandigheden. Voor de natte omstandigheden is gekozen voor een Gt II met een GHG van 0.3 m-mv en een GLG van 0.6 m-mv (zie *Figuur 2.6*). Voor de droge omstandigheden is gekozen voor een Gt VII met een GHG en GLG van respectievelijk 1.5 en 2.0 m-mv (zie *Figuur 2.7*). In bijlage B zijn de resultaten weergegeven die zijn verkregen met de WWL-metarelaties 1.0.0.

Op basis van deze resultaten moeten we concluderen dat de nieuwe berekeningen geen verbetering opleveren voor situaties met teveel droogtestress onder natte omstandigheden, met name bij bodemprofielen met (zware) klei. De wijziging in de bodemfysische eigenschappen heeft dit probleem wat we ook bij WWL 1.0.0 zagen niet opgelost. Er is nagegaan of een andere wijze van beschrijven voor of een andere wijze van afleiden van de bodemfysische eigenschappen voor kleigronden tot een verbetering zou leiden. Dat bleek niet het geval. Dit aspect zal nog nader worden uitgezocht.

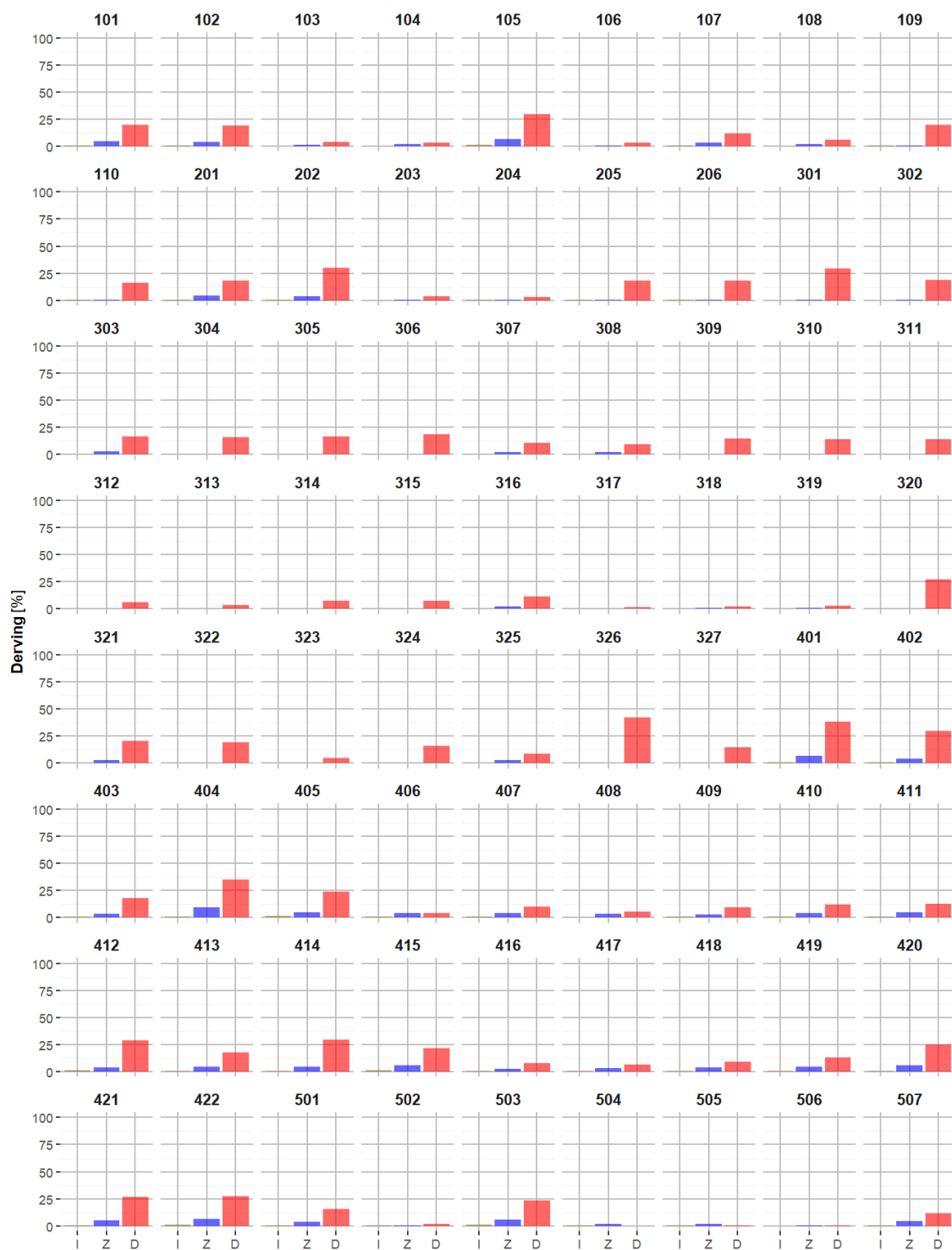
Verder valt op dat de extreme zuurstofstress onder natte omstandigheden flink is afgenomen. Dit is waarschijnlijk het gevolg van het meenemen van maaiveld drainage.

Het probleem met te weinig droogtestress onder droge omstandigheden lijken grotendeels verholpen te zijn. Hier is een aanzienlijke verbetering zichtbaar ten opzichte van de vorige resultaten verkregen met de WWL-metarelaties 1.0.0. Omdat WWL vooral wordt toegepast voor studies gerelateerd aan droogte voor zandgronden en er zodoende behoefte is aan deze verbeteringen is versie 2.0.0 opgeleverd ondanks dat de hierboven genoemde problemen nog niet zijn opgelost.

FIGUUR 2.6 LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) ONDER NATTE OMSTANDIGHEDEN (GHG: 0.3 M-MV; GLG: 0.6 M-MV) PER BOFEK2012-EENHEID OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 2.0.0 EN UITGESPLITST IN INDIRECTE EFFECTEN (I; BRUIN), ZUURSTOFSTRESS (Z; BLAUW) EN DROOGTESTRESS (D; ROOD)



FIGUUR 2.7 LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) ONDER DROGE OMSTANDIGHEDEN (GHG: 1.5 M-MV; GLG: 2.0 M-MV) PER BOFEK2012-EENHEID OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 2.0.0 EN UITGESPLITST IN INDIRECTE EFFECTEN (I; BRUIN), ZUURSTOFSTRESS (Z; BLAUW) EN DROOGTESTRESS (D; ROOD)



2.5 TOEPASSING WWL-TABEL

Het effect van alle aanpassingen bij het afleiden van de nieuwe WWL-metarelaties laten we zien aan de hand van een voorbeeld in Rheezermaten gelegen in het stroomgebied van de Vecht. Het landgebruik bestaat voornamelijk uit grasland en snijmais. In het gebied zijn voornamelijk zandgronden aanwezig, zie bijlage C voor meer informatie.

Het resultaat van de toepassing met de verbeterde WWL-metarelaties is weergegeven in Figuur 2.8. In vrijwel het gehele gebied is de gemiddelde opbrengstderving meer dan 15%, hetgeen voornamelijk wordt veroorzaakt door droogtestress. Op enkele plekken langs de Vecht is er sprake van te natte omstandigheden wat zich uit in opbrengstderving als gevolg van indirecte omstandigheden en zuurstofstress.

Het verschil ten opzichte van de vorige versie van de WWL-metarelaties (versie 1.0.0) is dat er een aanzienlijke toename te zien is in de gesimuleerde droogtestress van circa 10%, zie Tabel 2.2. Dit is vrijwel geheel te wijten aan de verandering van de bodemfysische eigenschappen zoals beschreven in sectie 2.1.

TABEL 2.2

LANGJARIG GEMIDDELTE OPBRENGSTDerving (%) VOOR RHEEZERMATEN BEREKEND OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 1.0.0 EN 2.0.0

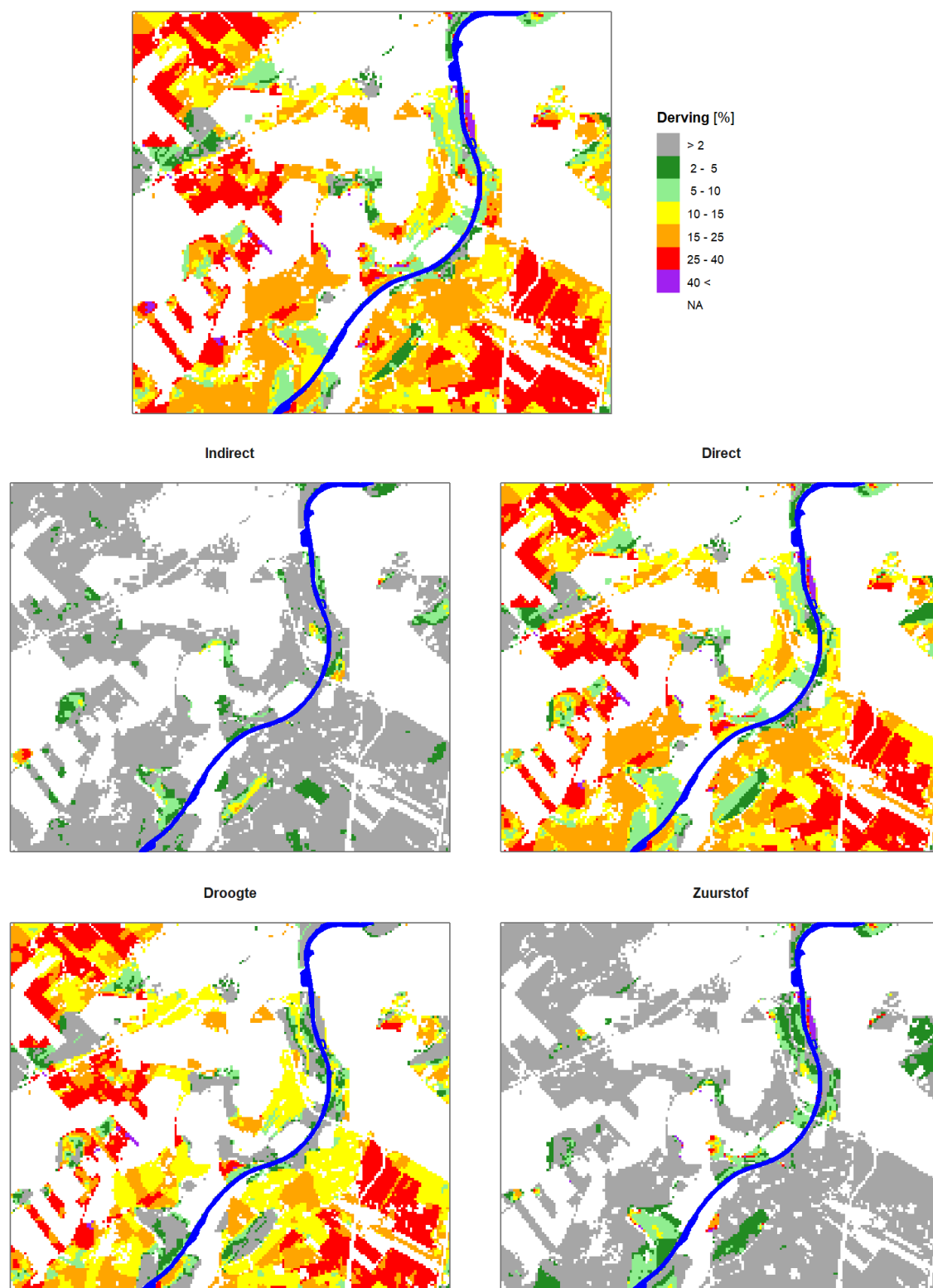
Opbrengstderving	1.0.0	2.0.0
totaal	8.5	18.1
- indirecte effecten	1.0	0.9
- directe effecten	7.5	17.2
- droogtestress	5.5	15.4
- zuurstofstress	2.0	1.8

De gesimuleerde zuurstofstress verandert gemiddeld niet zoveel. Lokaal kan de zuurstofstress zowel toe- als afnemen ten opzichte van de voorgaande versie van de WWL-metarelaties, zie Figuur 2.9.

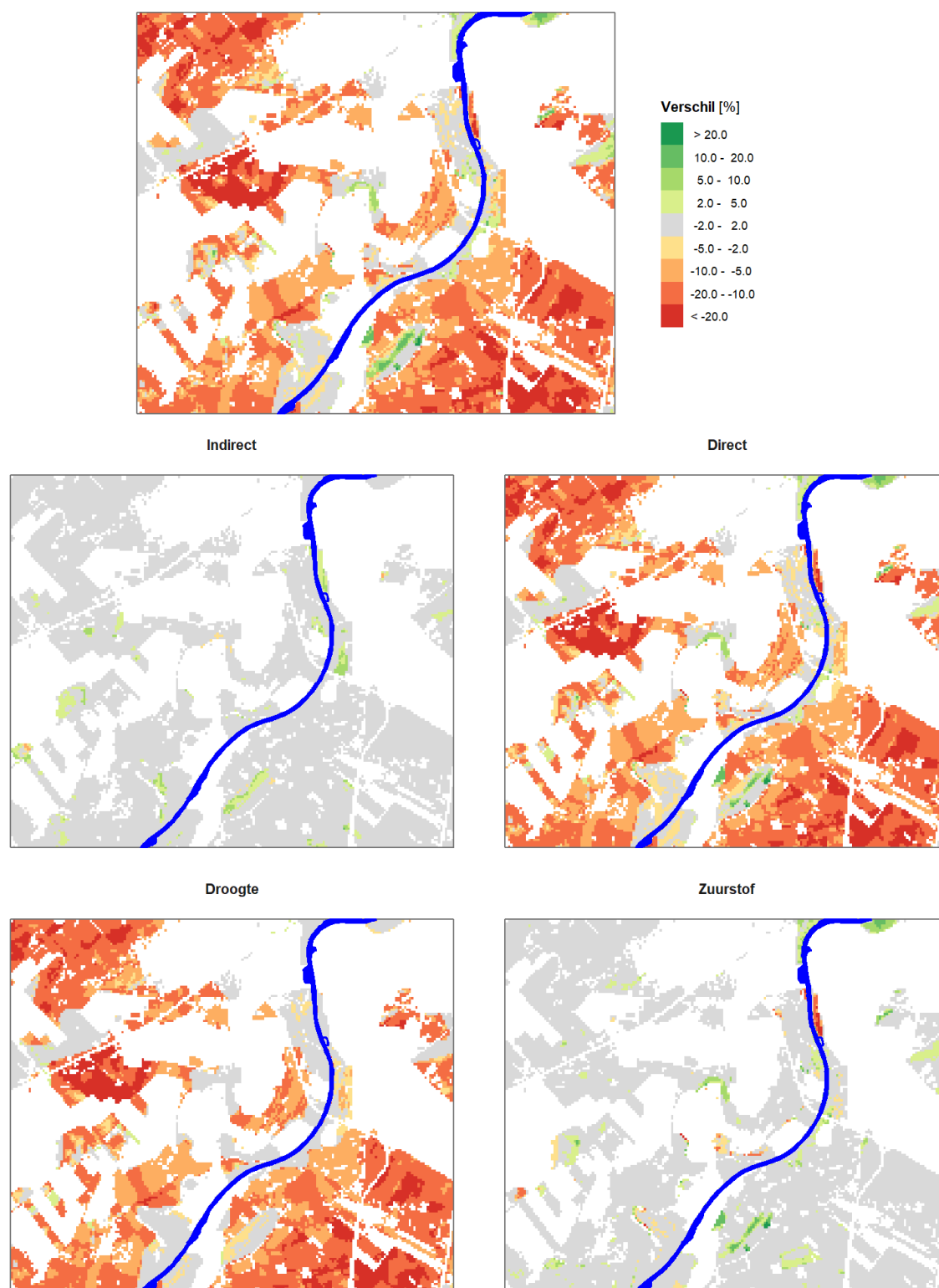
In het gebied van Rheezermaten zijn verschillende hydrologische maatregelen gepland (zie bijlage C). Globaal leiden de hydrologische maatregelen in het midden van het gebied tot nattere omstandigheden en in het zuiden van het gebied tot drogere omstandigheden. De verandering in de langjarig gemiddelde derving als gevolg van de hydrologische maatregelen zijn ruimtelijk weergegeven in Figuur 2.10. Hierin is in het midden van het selectiegebied een toename van de opbrengstderving te zien veroorzaakt door een toename in zuurstofstress. Een toename van droogtestress in het zuiden van het gebied is alleen zichtbaar op locaties waar de GLG niet al te diep zit en de verlaging van de grondwaterstand meer dan circa 10 cm.

FIGUUR 2.8

GEMIDDELDE OPBRENGSTDerving (%) VOOR RHEEZERMATEN OVER DE PERIODE 1981-2010 (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER) BEREKEND OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 2.0.0

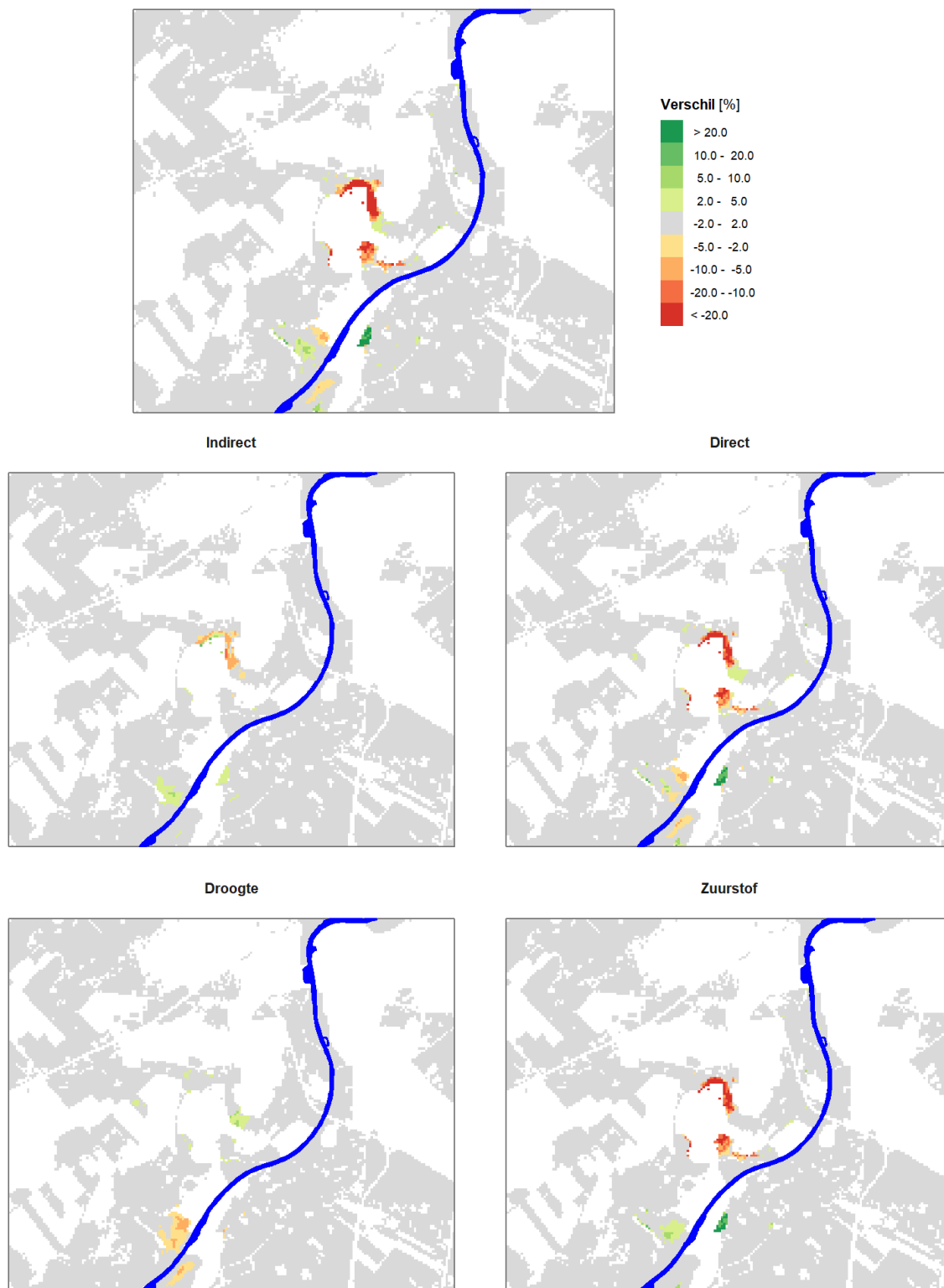


FIGUUR 2.9 VERSCHIL IN DE GEMIDDELTE OPBRENGSTDERIVING (%) VOOR RHEEZERMATEN OVER DE PERIODE 1994-2004 (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER) TEN OPZICHTE VAN WWL-METARELATIES 1.0.0



FIGUUR 2.10

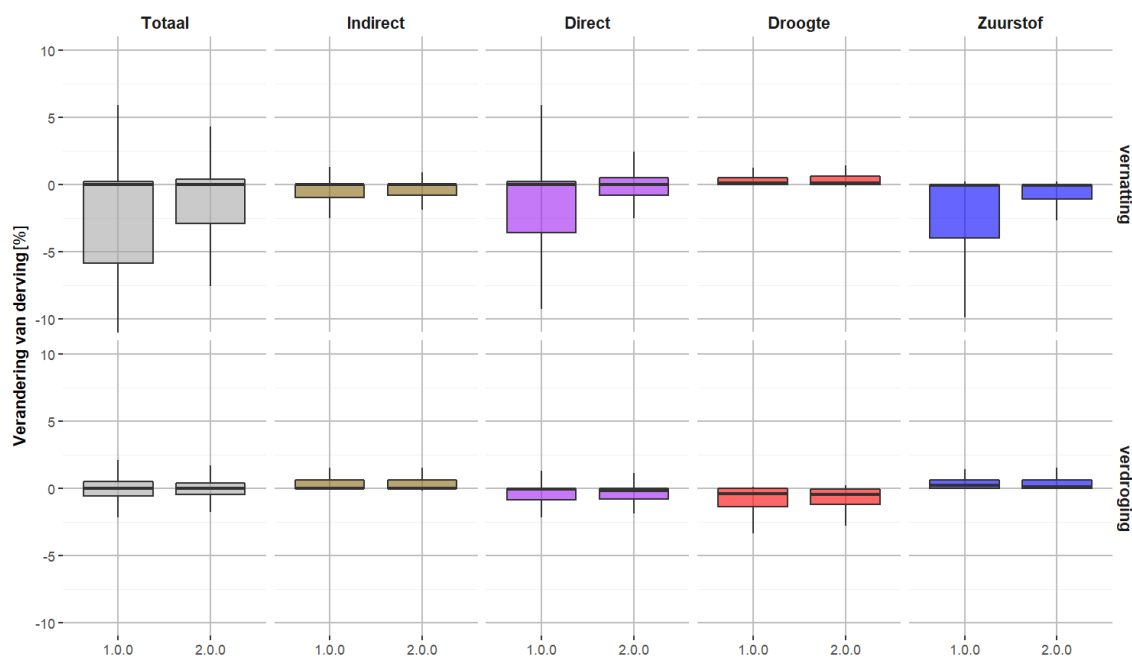
VERANDERING VAN DE GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) ALS GEVOLG VAN HYDROLOGISCHE MAATREGELEN VOOR RHEEZERMATEN OVER DE PERIODE 1994-2004 (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER) BEREKEND OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 2.0.0



We kunnen de verandering in de langjarig gemiddelde opbrengstderving als gevolg van hydrologische maatregelen bepalen met zowel de WWL-metarelaties 2.0.0 als met de WWL-metarelaties 1.0.0. Hiermee kunnen we zien of de relatieve verandering van de opbrengstderving verschilt tussen de verschillende WWL versies. Dit is weergegeven in *Figuur 2.11*. Voor deze vergelijking maken we onderscheid tussen het gebied waar de GHG met meer dan 5 cm stijgt (vernattiging) en het gebied waar de GHG met meer dan 5 cm daalt (verdroging).

Bij de vernattingsmaatregel zien we dat ten opzichte van de WWL-metarelaties 1.0.0 de relatieve toename van zuurstofstress geringer is bij de WWL-metarelaties 2.0.0. Op basis van de bevindingen in sectie 2.4.2 mag je dat ook verwachten. Verder zien we in beide versies van Waterwijzer Landbouw een compensatiewerking: als een hydrologische maatregel leidt tot een toename van zuurstofstress en indirecte effecten zal dit gecompenseerd worden door een afname van droogtestress. Deze compensatiewerking zien we zowel bij vernattiging als verdroging. In dit voorbeeld is niet te zien dat ten opzichte van WWL-metarelaties 1.0.0 er sprake is van een relatieve toename van droogtestress bij de WWL-metarelaties 2.0.0. Ook hier is een mogelijke verklaring dat de referentiesituatie dermate droog is dat het niet uitmaakt of het nog droger wordt (dit geldt dan zowel bij WWL-metarelaties 1.0.0 als WWL-metarelaties 2.0.0).

FIGUUR 2.11 VERDELING VAN DE RELATIEVE VERANDERING IN DE LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) ALS GEVOLG VAN HYDROLOGISCHE MAATREGELEN (UITGESPLITST NAAR VERNATTIGINGS- EN VERDROGINGSMAATREGELEN) VOOR RHEEZERMATEN OVER DE PERIODE 1994-2004 BEREKEND MET WWL-METARELATIES 1.0.0 EN 2.0.0



3

WATERWIJZER LANDBOUW MAATWERK

Zoals in hoofdstuk 2 is beschreven is het mogelijk om relatief snel en eenvoudig een eerste indruk te krijgen van de langjarig gemiddelde (of eventueel jaarlijkse) opbrengstdervingen en de oorzaken daarvoor door toepassing van de WWL-tabel. Aan de invoerzijde van de WWL-tabel dient informatie aangeleverd te worden over het type landgebruik, bodemtype, meteorologie en hydrologische omstandigheden. Op basis van deze informatie wordt de relatieve opbrengstderving opgevraagd waarbij tevens wordt aangegeven hoe deze is opgebouwd. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in opbrengstderving als gevolg van verschuiving van het groeiseizoen en vertrappingsverliezen (indirecte effecten) en opbrengstderving als gevolg van te natte of te droge omstandigheden gedurende het groeiseizoen (directe effecten). De opbrengstderving kan worden opgevraagd voor de periode 1981 – 2010 en voor een klimaat-scenario (Wh) voor de periode 2036 – 2065.

Bij het opvragen van de relatieve gewasopbrengst raadpleegt de WWL-tabel een database waarin voor elke combinatie van landgebruik, bodemtype, meteorologie en hydrologische condities de opbrengstderving en specificatie daarvan is opgeslagen. Miljoenen simulaties die zijn uitgevoerd met het Waterwijzer Landbouw modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST) liggen ten grondslag aan deze database. Om het aantal simulaties enigszins behapbaar te houden is ervoor gekozen om het aantal landgebruiksvormen, bodemtypen en meteorologische condities te beperken (zie sectie 2.3.3). De hydrologische condities zijn samengevat in grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG.

Het mag duidelijk zijn dat het gebruik van de WWL-tabel gepaard gaat met allerlei restricties en algemene aannames die zijn gemaakt bij de inrichting van het modelinstrumentarium. Met behulp van WWL-maatwerk is het mogelijk om voor een specifieke situatie een modelsimulatie die is gebruikt bij het opstellen van de database te selecteren en opnieuw te draaien. De inrichting van deze modelsimulatie is vervolgens niet meer gebonden aan vooraf opgelegde restricties en aannames. Als gebruiker ben je dus vrij om bijvoorbeeld gebruik te maken van meteorologische condities die lokaal zijn gemeten en/of de hydrologische randvoorwaarden te veranderen. Dit geeft een maatwerkberekening.

3.1 PILOTSTUDIES

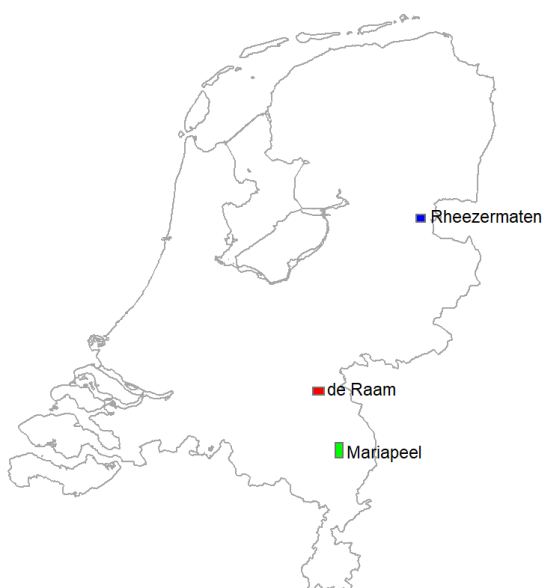
Om een dergelijke maatwerktoeepassing op schaal van stroomgebieden uit te voeren is WWL-regionaal ontwikkeld. Informatie over landgebruik, bodemtype en hydrologische condities worden hierbij ontleend aan informatie op regionale schaal zoals hydrologische modelberekeningen. In deze studie gaan we in drie pilotstudies zowel de WWL-tabel (waarbij de WWL-metarelaties 2.0.0 worden geraadpleegd), WWL-maatwerk en WWL-regionaal toepassen. Daarmee illustreren we wat deze verschillende opties binnen WWL opleveren en verschaffen we inzicht welk WWL-product het beste kan worden ingezet afhankelijk van de doelstelling van de studie.

Voor de pilotstudies zijn resultaten van regionale hydrologische modeltoepassingen beschikbaar gesteld door de betreffende waterschappen (zie *Figuur 3.1*):

- De Raam: Brabant model, simulatieperiode 2010 – 2018 (waterschap Aa en Maas);
- Rheezermaten: MIPWA, simulatieperiode 1996 – 2004 (waterschap Vechtstromen);
- Mariapeel: IBRAHYM, simulatieperiode 1998 – 2005 (waterschap Limburg).

Voor de pilotstudie van De Raam wordt een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van de WWL-tabel en WWL-regionaal. Voor een tweetal specifieke situaties wordt nader ingegaan op de verschillen tussen beide methoden. Voor de pilotstudies van Rheezermaten en Mariapeel wordt niet alleen gekeken naar de langjarig gemiddelde opbrengstderving maar ook naar de opbrengstderving in een nat en een droog jaar. Tevens wordt in deze twee pilotstudies gekeken naar de verandering van de opbrengstderving als gevolg van hydrologische maatregelen.

FIGUUR 3.1 LOCATIE VAN PILOTSTUDIES IN NEDERLAND; MET RHEEZERMATEN, DE RAAM EN MARIAPEEL



3.2 DE RAAM

In eerste instantie is de langjarig gemiddelde opbrengstderving bepaald met behulp van de WWL-tabel. Daarvoor hebben we informatie nodig over meteorologie, het landgebruik, bodemtype en de grondwaterstandskarakteristieken. Met uitzondering van de meteorologie wordt de informatie ontleend aan het Brabant model. In tweede instantie wordt opbrengstderving bepaald met behulp van WWL-regionaal en worden de resultaten onderling met elkaar vergeleken.

3.2.1 TOEPASSEN VAN WWL-TABEL

Meteorologie

Bij het toepassen van de WWL-tabel kan er gekozen worden tussen meteorologische condities afkomstig van vijf weerstations, dit zijn: de Kooy (235), De Bilt (260), Eelde (280), Vlissingen (310) en Maastricht (380). Voor het pilotgebied van De Raam is gekozen voor het dichtstbijzijnde weerstation, namelijk De Bilt.

Landgebruik

Het landgebruik dat wordt gehanteerd in het Brabant Model komt niet één op één overeen met typen van landgebruik waarvoor de WWL-metarelaties zijn afgeleid. Het landgebruik zal dus eerst vertaald moeten worden alvorens de WWL-tabel kan worden toegepast. In Tabel 3.1 is deze vertaling weergegeven.

TABEL 3.1

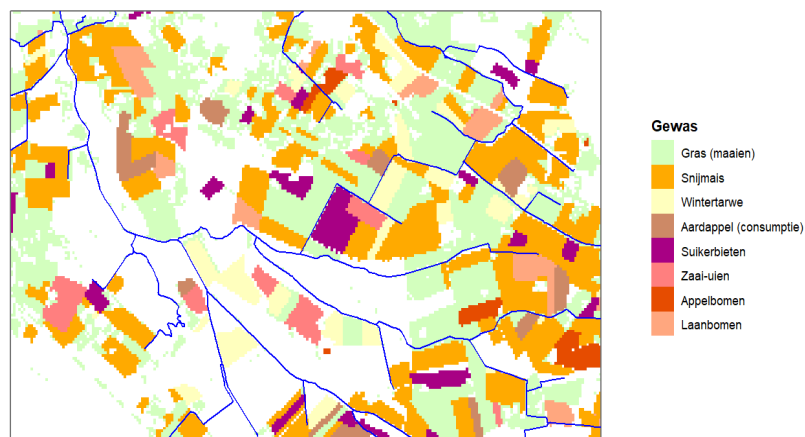
VERTALING VAN LANDGEBRUIK HYDROLOGISCH MODEL NAAR LANDGEBRUIK WATERWIJZER LANDBOUW

Hydrologisch model		Waterwijzer Landbouw	
Code	Omschrijving	Code	Omschrijving
1	gras	1	gras (maaien)
2	mais	6	snijmais
3	aardappelen	9	consumptieaardappelen
4	bieten	12	suikerbieten
5	granen	7	wintertarwe
6	overige landbouwgewassen	13	zaaiuien
7	boomteelt	23	Laanbomen
9	boomgaard	22	appelbomen
10	bollen	20	Tulp
21	fruitkwekerijen	22	appelbomen

Het landgebruik in het pilotgebied van De Raam bestaat hoofdzakelijk uit gewassen voor de melkveehouderij (40% grasland en 33% snijmais). Daarnaast zijn er nog enkele percelen met wintertarwe (8%), suikerbieten (5%), aardappelen (4%), zaai-uien (4%), laanbomen (4%) en appelbomen (2%), zie *Figuur 3.2*.

FIGUUR 3.2

LANDGEBRUIK DE RAAM



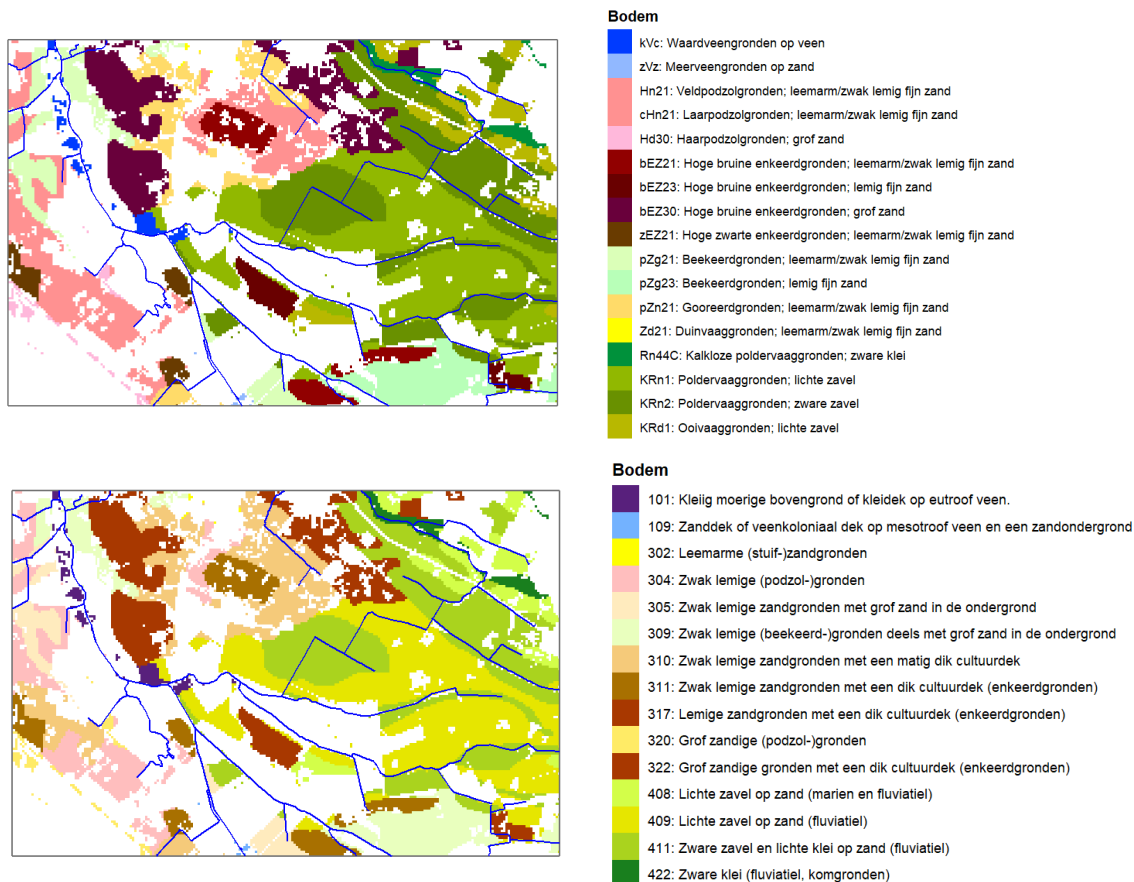
Bodemtype

De bodemschematisering die wordt gehanteerd in het Brabant model is gebaseerd op de [Bodemkaart van Nederland](#). Deze schematisering bevat 370 profielschetsen. Dit betreffen beschrijvingen van het bodemprofiel tot 1.2 m-mv waaraan per bodemlaag bodemfysische bouwstenen (van de [Staringreeks](#)) zijn gekoppeld. Daarnaast wordt er bijgehouden wat het dominante landgebruik is (waarbij onderscheid wordt gemaakt in grasland, akkerbouw, natuur of bos).

De WWL-metarelaties zijn niet afgeleid voor alle 370 bodemprofielen maar voor een clustering van die profielen, namelijk de [Bodemfysische Eenhedenkaart \(BOFEK2012\)](#) (Wösten et al., 2013). We moeten dus in plaats van de gebruikte bodemtypes de bijbehorende

BOFEK2012-eenheid opzoeken om de WWL-tabel toe te passen. In *Figuur 3.3* is deze vertaling weergegeven.

FIGUUR 3.3 BODEMTYPE DE RAAM; BODEMTYPE GEBASEERD OP BODEMKAART VAN NEDERLAND (BOVEN) EN DE BODEMFYSISCHE EENHEDENKAART (BOFEK2012)



Bij deze vertaling is er sprake van een lichte afname in detail van 23 unieke bodemeenheden van de bodemkaart naar 15 unieke bodemeenheden van de BOFEK2012. Qua bodemtype is er voornamelijk sprake van kleigronden (51%) en zandgronden (48%). Op enkele plekken langs De Raam komen veengronden voor (1%). In het pilotgebied van De Raam komen binnen de kleigronden de poldervaaggronden het meeste voor (45%).

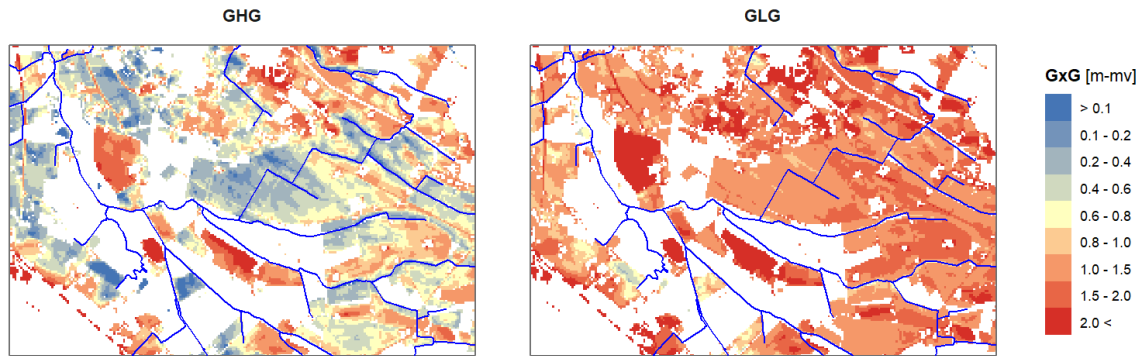
Grondwaterstandskarakteristieken

Met het Brabant-model is een hydrologische berekening uitgevoerd voor de periode 2010 – 2018. De gesimuleerde grondwaterstanden zijn samengevat in grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG. De grondwaterstandskarakteristieken laten een gevarieerd beeld met een behoorlijke dynamiek zien, zie *Figuur 3.4*. Bij de hoog gelegen enkeerdgronden zakt de grondwaterstand verder uit dan elders in het gebied.

Het is belangrijk om te beseffen dat de WWL-metarelaties betrekking hebben op de periode 1981 – 2010. Dit wijkt af van de simulatieperiode van de hydrologische berekening met het Brabant-model. Bij het toepassen van de WWL-tabel veronderstellen we nu dus voor het gemak dat de grondwaterkarakteristieken bepaald over de periode 1981 – 2010 en de periode 2010 – 2018 vergelijkbaar zijn en dat we dus de WWL-tabel mogen toepassen⁸.

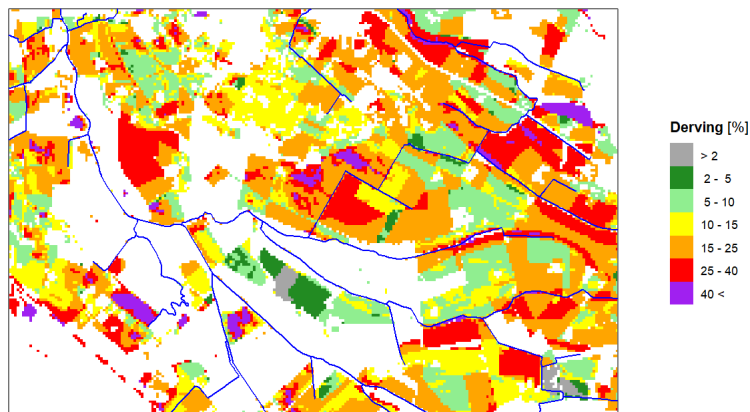
⁸ Omdat de simulatieperiode van beide modeltoepassingen elkaar niet overlappen is het niet mogelijk om de mogelijke fout die hiermee gemaakt wordt te kwantificeren. Bij de pilotstudie Rheezermaten is dit wel mogelijk en ook uitgevoerd, zie sectie 3.3.

FIGUUR 3.4 GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN GHG EN GLG VOOR DE REFERENTIESITUATIE VOOR DE RAAM



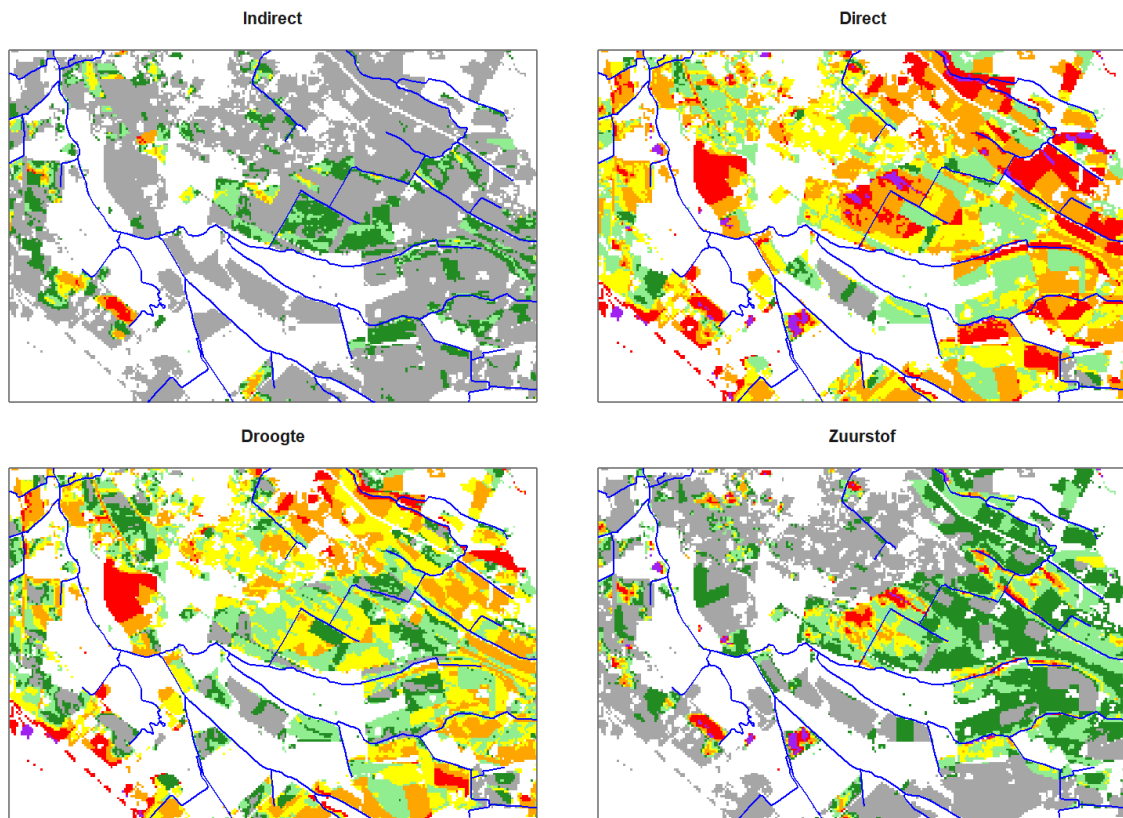
Op basis van de hierboven beschreven informatie is het mogelijk om met behulp van de WWL-tabel een inschatting te maken van de langjarig gemiddelde opbrengstderving, zie Figuur 3.5. Hierin is te zien dat op veel percelen een behoorlijk hoge opbrengstderving wordt berekend van meer dan 15%.

FIGUUR 3.5 GEMIDDELTE OPBRENGSTDerving (%) VOOR DE RAAM BEREKEND OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 2.0.0



De totale opbrengstderving kan worden uitgesplitst naar het aandeel dat veroorzaakt wordt door indirecte effecten (verschuiving in het groeiseizoen of vertrappingsverliezen) en het aandeel dat veroorzaakt wordt door de gesimuleerde te droge of te natte omstandigheden (gedurende het groeiseizoen; directe effecten), zie Figuur 3.6. Het valt op dat de opbrengstderving voornamelijk door droogtestress wordt veroorzaakt. Verder zien we opbrengstderving als gevolg van indirecte effecten terug bij percelen met een zeer geringe ontwateringsdiepte. Voornamelijk op de kleigronden komt zuurstofstress voor.

FIGUUR 3.6 UITSPLITSING VAN DE GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) VOOR DE RAAM NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER) BEREKEND OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 2.0.0



3.2.2 TOEPASSING WWL-REGIONAAL

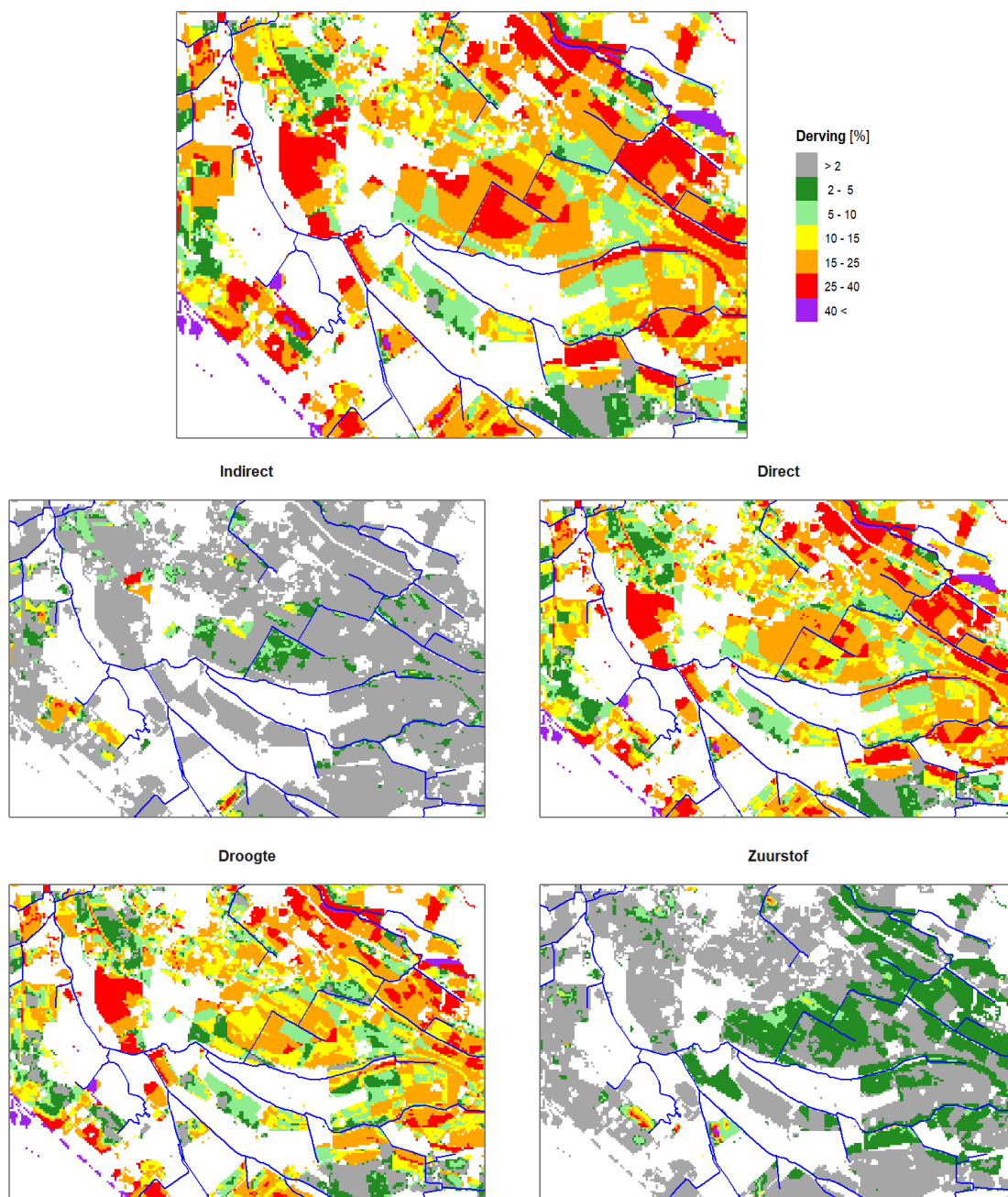
Doordat we met de maatwerktoepassing niet meer gebonden zijn aan de beperkingen van de WWL-tabel, kunnen de modelsimulaties worden ingericht met meer detail en kan de bodemprofielkeuze gebaseerd worden op de gegevens uit de Bodemkaart van Nederland. Voor de meteorologische gegevens kan gebruik worden gemaakt van een lokaal weerstation. Voor De Raam zijn deze afkomstig van het weerstation Volkel.

Zoals hiervoor is aangegeven is er met het Brabant model een hydrologische berekening uitgevoerd voor de periode 2010 – 2018. Gedurende deze periode zijn dagelijkse gesimuleerde grondwaterstanden beschikbaar. Bij het toepassen van WWL-regionaal worden deze gesimuleerde grondwaterstanden als onderrandvoorwaarde opgelegd aan het SWAP-WOFOST model-instrumentarium. Dat kan op verschillende manieren. In eerste instantie is er voor gekozen om de grondwaterstanden in de vorm van een drukhoogte als onderrandvoorwaarde op te leggen met een temporele resolutie van 14 dagen. In bijlage D gaan we wat dieper in op de gevoeligheid van de simulaties voor mogelijke verschillende keuzes voor de onderrandvoorwaarde.

Resultaten van de langjarig gemiddelde opbrengstderiving, verkregen met WWL-regionaal zijn weergegeven in Figuur 3.7. Ook hier is te zien dat op veel percelen een behoorlijk hoge opbrengstderiving wordt berekend van meer dan 15%, hetgeen voornamelijk wordt veroorzaakt door droogtestress. Op de kleigronden komt in lichte mate zuurstofstress voor.

FIGUUR 3.7

SPECIFICATIE VAN DE GEMIDDELTE OPBRENGSTDERIVING (%) VOOR DE RAAM UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (BOVEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER) BEREKEND MET WWL-REGIONAAL

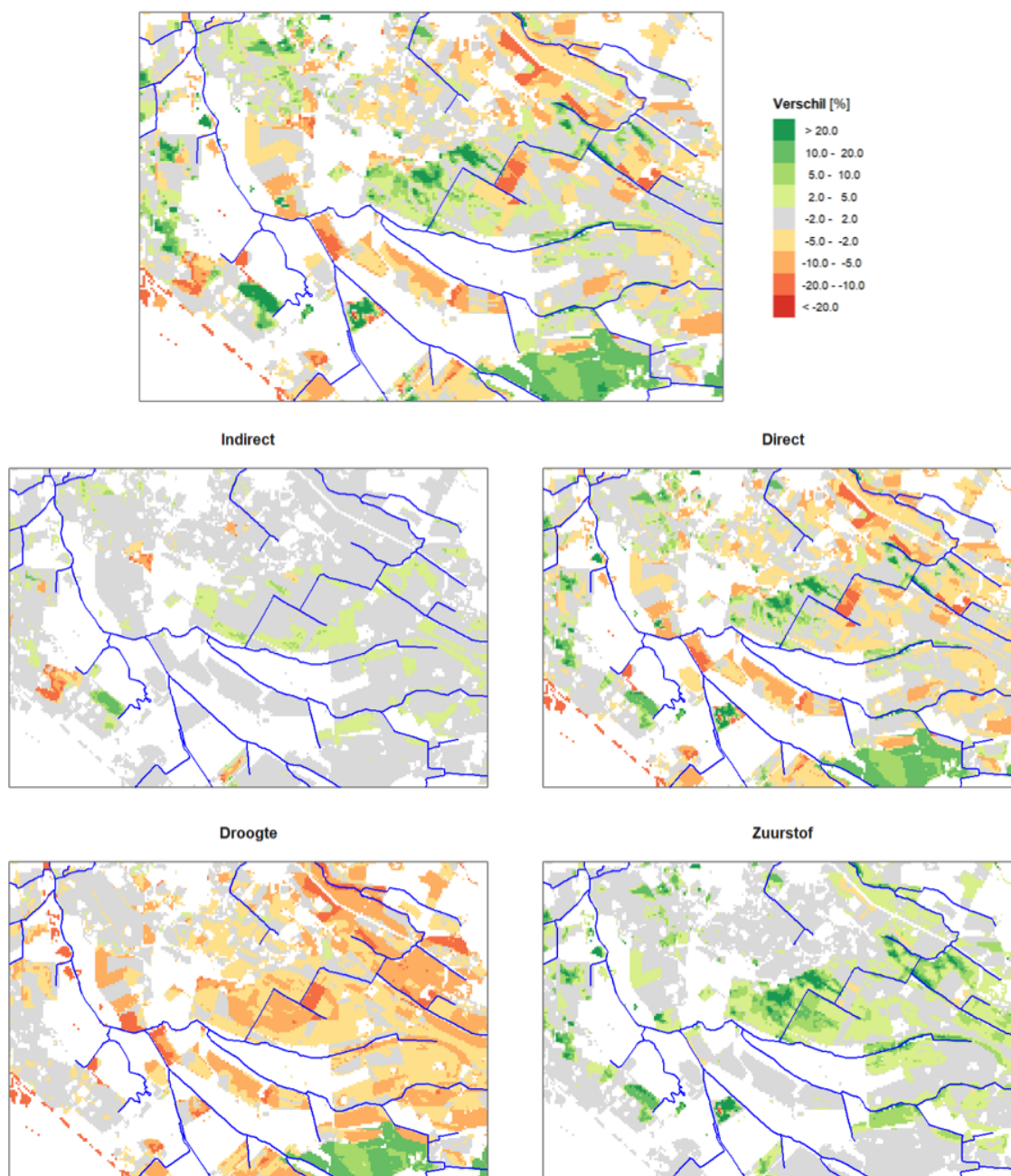


3.2.3 VERGELIJKING RESULTATEN

In *Figuur 3.8* is het verschil tussen de beide methoden weergegeven, dus het verschil tussen opbrengstderving bepaald met de WWL-tabel en die met WWL-regionaal. Ten opzichte van de WWL-tabel wordt met de maatwerkberekening in het pilotgebied van De Raam op sommige plekken meer en op andere plekken minder opbrengstderving berekend. Over het algemeen kan gesteld worden dat de WWL-tabel minder droogtestress berekent (afgezien van de bekeerdgronden) en meer zuurstofstress voor dit pilotgebied.

FIGUUR 3.8

VERSCHIL IN GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) VOOR DE RAAM BEREKEND MET DE WWL-TABEL EN WWL-REGIONAAL (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER); GROEN GEEFT AAN DAT WWL-REGIONAAL MINDER STRESS BEREKEND



Verschillen zijn natuurlijk te verwachten omdat de bepaling van de opbrengstderving in beide methoden weliswaar is gebaseerd op hetzelfde modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST), maar met andere invoergegevens en ander detailniveau:

- WWL-tabel maakt gebruik van WWL-metarelaties welke worden aangestuurd met grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG. Het grondwaterstandsverloop bij WWL-regionaal wordt ontleend aan een lokaal hydrologisch model;
- Simulatieperiode van de WWL-tabel is gebaseerd op 1981 – 2010, bij WWL-regionaal betreft dit de periode 2010 – 2018;
- Meteorologische condities bij WWL-tabel zijn afkomstig van het weerstation de Bilt, bij WWL-regionaal wordt het weerstation Volkel gebruikt;
- Bodemprofielen (en daarmee ook de bodemfysische eigenschappen) zijn bij de WWL-tabel afkomstig van de Bodemfysische Eenhedenkaart BOFEK2012, WWL-regionaal maakt gebruik van meer gedetailleerde bodemprofielgegevens van de Bodemkaart van Nederland.

Om de verschillen tussen beide methoden wat beter te kunnen duiden gaan we binnen het pilotgebied bij Tochtsloot (T) en de Graafsche Raam (G) in detail naar de resultaten kijken (zie voor de ligging van de locaties *Figuur 3.8*).

Tochtsloot

Bij Tochtsloot is er sprake van gemaaid grasland op een zware zavelgrond (poldervaaggrond; BOFEK2012 411) onder relatief natte omstandigheden met een GHG van 0.24 m-mv en een GLG van 1.11 m-mv. In Tabel 3.2 is een overzicht van de langjarig gemiddelde opbrengstderving weergegeven berekend met de WWL-tabel en WWL-regionaal.

TABEL 3.2

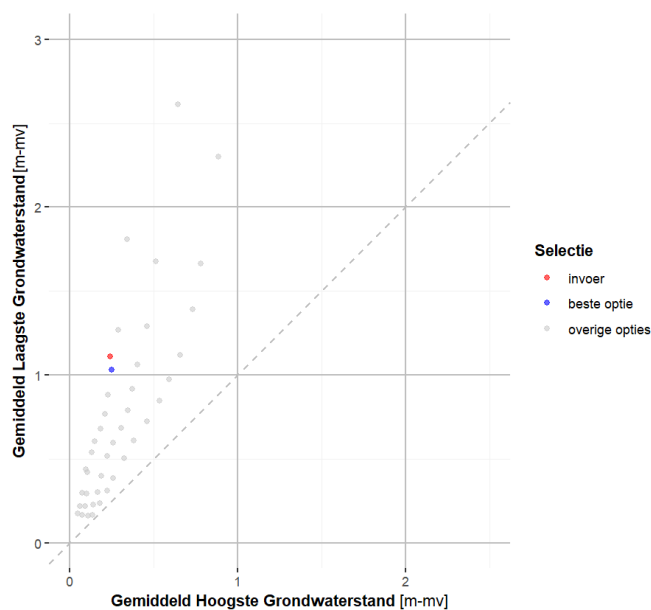
LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDerving (%) BEREKEND MET WWL-TABEL EN WWL-REGIONAAL TER PLAATSE VAN TOCHTSLOOT

	WWL-tabel 1981-2010 De Bilt BOFEK2012	WWL-regionaal 2010-2018 Volkel BODEMKAART
Referentie		
Totaal	23.0	18.7
- Indirect effecten	1.0	1.0
- Direct effecten	22.0	17.7
- Droogtestress	8.7	13.3
- Zuurstofstress	13.3	4.4

De WWL-tabel berekent circa 4% meer opbrengstderving ten opzichte van WWL-regionaal. Opvallend hierbij is dat de opbrengstderving door de WWL-tabel voornamelijk wordt veroorzaakt door zuurstofstress, terwijl bij WWL-regionaal de droogtestress de voornaamste oorzaak is. Om meer inzicht te krijgen in de oorzaak van de verschillen gaan we gebruik maken van WWL-maatwerk. Met deze tool kunnen we namelijk een individuele SWAP-WOFOST simulatie opnieuw uitvoeren die ook is gebruikt bij het afleiden van de WWL-metarelaties (waarvan de resultaten worden bevraagd met de WWL-tabel). We kiezen deze individuele simulatie uit aan de hand van de voorkomende GHG-GLG-combinatie. In *Figuur 3.9* is te zien dat de SWAP-WOFOST simulatie weergegeven in het blauw heel dicht ligt bij de gekozen invoer voor de locatie bij Tochtsloot.

FIGUUR 3.9

SELECTIE SWAP-WOFOST SIMULATIE DIE GEBRUIKT IS BIJ HET AFLEIDEN VAN WWL-METARELATIES (TOCHTSLOOT) OP BASIS VAN EEN OVEREENKOMSTIGE GHG-GLG COMBINATIE



Voor deze SWAP-WOFOST simulatie kunnen we de opbrengstderving opnieuw bepalen, zie Tabel 3.3. De WWL-maatwerk (blauw) toepassing berekent een lagere opbrengstderving ten opzichte van de WWL-tabel, hetgeen voornamelijk wordt veroorzaakt door een afname in zuurstofstress (als maat voor directe natschade).

TABEL 3.3

GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN [M-MV] EN LANGJARIG GEMIDDELTE OPBRENGSTDerving (%) BEREKEND MET WWL-TABEL, WWL-MAATWERK EN WWL-REGIONAAL WAARBIJ DE BEREKENING VAN WWL-MAATWERK STAPSGEWIJS WORDT Aangepast

	WWL-tabel 1981-2010 De Bilt BOFEK2012	WWL-maatwerk 1981-2010 De Bilt BOFEK2012	WWL-maatwerk 2010-2018 De Bilt BOFEK2012	WWL-maatwerk 2010-2018 Volkel BOFEK2012	WWL-maatwerk 2010-2018 Volkel BODEMKAART	WWL-regionaal 2010-2018 Volkel BODEMKAART
Grondwaterstandskarakteristieken						
GHG	0.24	0.25	0.17	0.25	0.25	0.20
GLG	1.11	1.03	1.03	1.06	1.02	1.11
Opbrengstderving						
Totaal	23.0	17.9	17.9	18.6	19.9	18.7
- Indirecte effecten	1.0	0.5	0.7	0.6	1.0	1.0
- Directe effecten	22.0	17.4	17.2	18.0	18.8	17.7
- Droogtestress	8.7	9.7	10.7	13.6	14.6	13.3
- Zuurstofstress	13.3	7.7	6.5	4.4	4.2	4.4

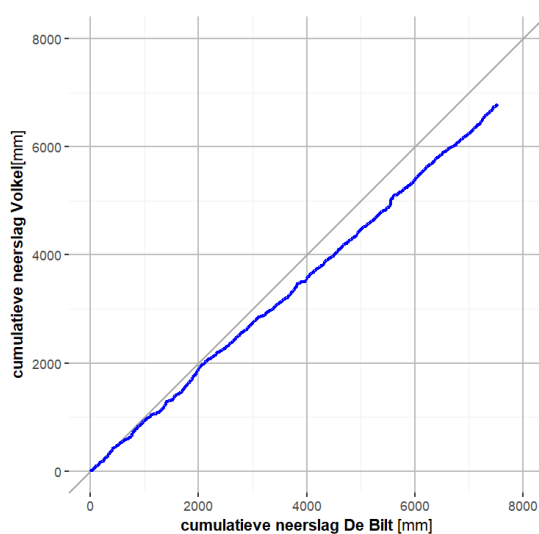
Bij het afleiden van de WWL-metarelaties worden alle simulaties in het GxG-domein (grijze punten in *Figuur 3.9*) gezamenlijk geanalyseerd. Hierbij wordt het (met SWAP-WOFOST gesimuleerde) verloop van de indirecte effecten, de droogte- en zuurstofstress in het GxG-domein zo goed als mogelijk gevolgd door de metarelaties. Een individuele SWAP-WOFOST simulatie kan echter afwijken van die metarelatie. Het lijkt erop dat in dit geval bij de metarelaties het aandeel zuurstofstress hoger is vanwege relatief natte voorjaarscondities in combinatie met zomercondities waarbij grondwaterstand tot circa slechts 1 m-mv uitzakt, (zie voor nadere toelichting bijlage E).

Dit verklaart echter nog niet het hele verschil tussen de opbrengstderving berekend met de WWL-tabel en WWL-regionaal (Tabel 3.2). Hoewel de totale opbrengstderving van WWL-maatwerk (blauw) en WWL-regionaal (zwart) min of meer gelijk is, wordt dit bij de WWL-maatwerk toepassing veroorzaakt door zowel zuurstofstress als droogtestress, terwijl dit bij WWL-regionaal voornamelijk door droogtestress wordt veroorzaakt (Tabel 3.3). Om dit verschil nader te onderzoeken kunnen we stapsgewijs de SWAP-WOFOST simulatie van WWL-maatwerk aanpassen zodat deze steeds meer gaat lijken op de SWAP-WOFOST simulatie van WWL-regionaal. In drie stappen wordt de simulatieperiode aangepast, vervolgens de meteorologische condities en ten slotte de bodemfysica.

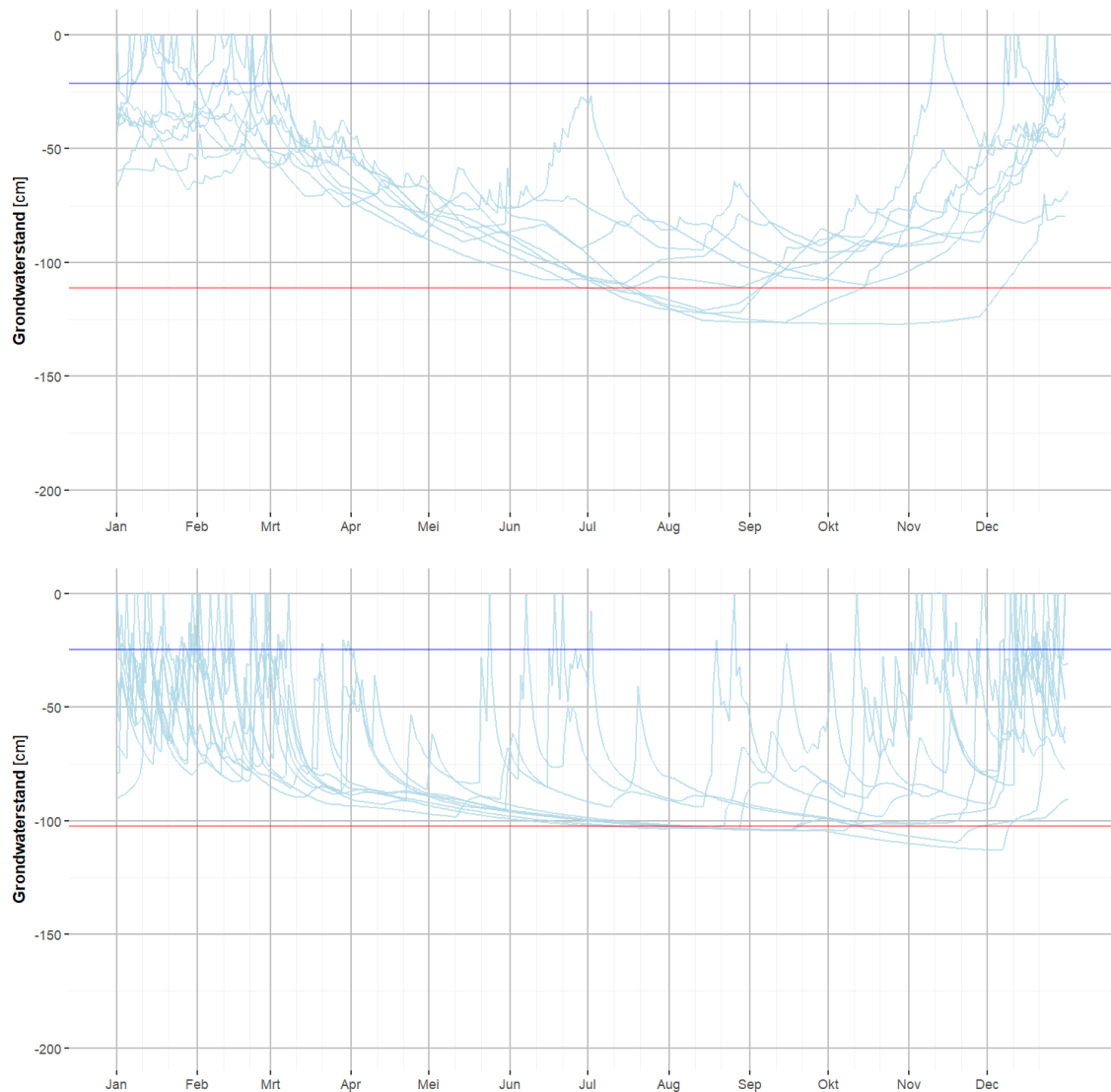
In elke stap is er in dit geval een toename van de droogtestress te zien en een afname van de zuurstofstress. Vooral door het aanpassen van de meteorologische condities (Volkel in plaats van de Bilt) wordt meer droogtestress ondervonden. Gedurende de simulatieperiode 2010 – 2018 is er ten opzichte van de Bilt circa 10% minder neerslag gemeten bij Volkel, zie *Figuur 3.10*.

Na het doorvoeren van deze aanpassingen in de WWL-maatwerk toepassing is alleen het verloop van de grondwaterstand nog anders, zie *Figuur 3.11*. Ten opzichte van WWL-regionaal vertoont de grondwaterstand bij WWL-maatwerk een piekeriger verloop, anderzijds zakt de grondwaterstand in de zomer minder diep uit. Indien bij de WWL-maatwerk toepassing ook het grondwaterstandsverloop wordt overgenomen uit het hydrologisch model zijn de resultaten gelijk aan de resultaten van WWL-regionaal.

FIGUUR 3.10 CUMULATIEVE NEERSLAG BEPAALD OVER DE PERIODE 2010 – 2018 VAN HET WEERSTATION DE BILT EN VOLKEL TEGEN ELKAAR UITGEZET



FIGUUR 3.11 GRONDWATERSTANDSVERLOOP TER PLAATSE VAN TOCHTSLOOT DOOR HET JAAR HEEN GESIMULEERD MET WWL-REGIONAAL (BOVEN) EN WWL-MAATWERK (ONDER)



Op basis van de bovenstaande analyse kan geconcludeerd worden dat de verschillen in opbrengstderving tussen WWL-tabel en WWL-regionaal onder natte omstandigheden groot kan zijn. Een vergelijkbare analyse is gedaan bij de Graafsche Raam onder relatief droge omstandigheden.

Graafsche Raam

Bij Graafsche Raam is er opnieuw sprake van gemaaid grasland, maar nu op leemarm tot zwak lemig fijn zand (gooreerdgrond; BOFEK2012 310) met een GHG van 0.67 m-mv en een GLG van 1.43 m-mv. In Tabel 34 is een overzicht van de langjarig gemiddelde opbrengstderving weergegeven berekend met de WWL-tabel en WWL-regionaal.

TABEL 3.4

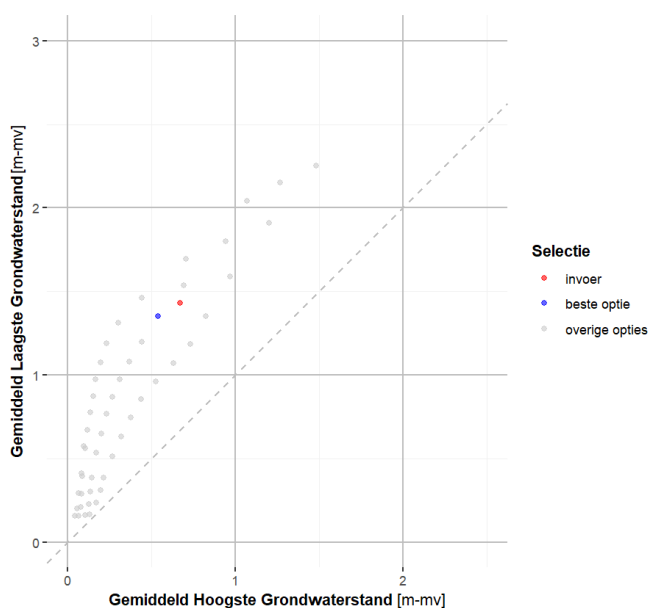
LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDerving (%) BEREKEND MET WWL-TABEL EN WWL-REGIONAAL

	WWL-tabel 1981-2010 De Bilt BOFEK2012	WWL-regionaal 2010-2018 Volkel BODEMKAART
Referentie		
Totaal	10.3	11.5
- Indirect effecten	0.1	0.0
- Direct effecten	10.2	11.5
- Droogtestress	9.8	11.4
- Zuurstofstress	0.4	0.1

De berekende opbrengstderving van de WWL-tabel en WWL-regionaal zijn niet erg verschillend. Ook nu kunnen we gebruik maken van WWL-maatwerk om stapsgewijs de SWAP-WOFOST simulatie aan te passen zodat deze steeds meer gaat lijken op de SWAP-WOFOST simulatie van WWL-regionaal. Uitgangspunt is hierbij de SWAP-WOFOST simulatie die is gebruikt bij het afleiden van de WWL-metarelaties (zie *Figuur 3.12*). In drie stappen wordt de simulatieperiode aangepast, vervolgens de meteorologische condities en tenslotte de bodemfysica om zo te ontdekken welke factoren leiden tot deze verschillen. De resultaten zijn weer gegeven in Tabel 3.5.

FIGUUR 3.12

SELECTIE SWAP-WOFOST SIMULATIE DIE GEBRUIKT IS BIJ HET AFLEIDEN VAN WWL-METARELATIES (Grafische Raam) OP BASIS VAN DE VOORKOMENDE GHG-GLG COMBINATIE

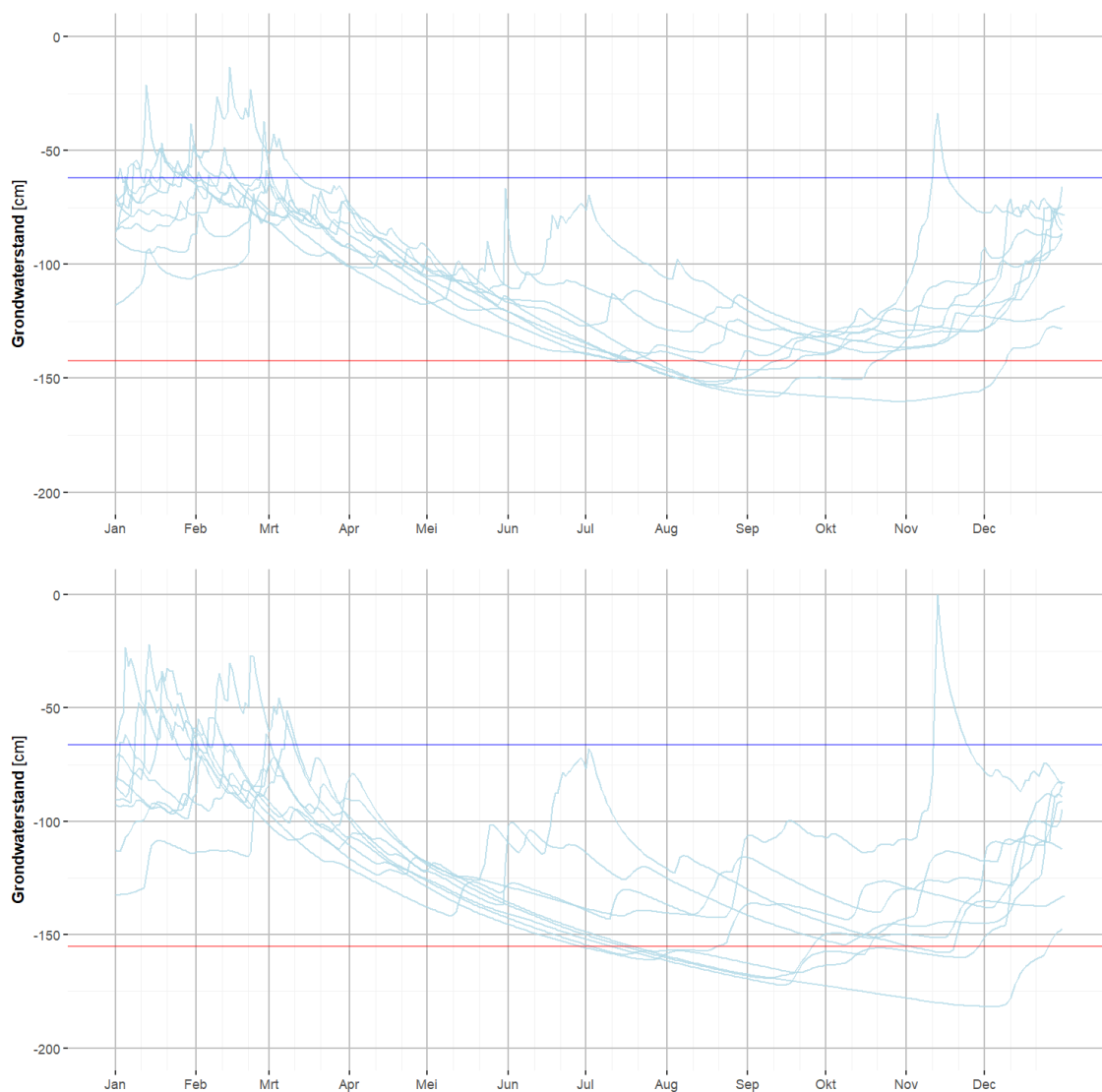


In Tabel 3.5 is te zien dat de WWL-maatwerk toepassing (blauw) vergelijkbare resultaten geeft als de WWL-tabel. Vooral het aanpassen van de meteorologische condities leidt tot meer droogtestress. Het overnemen van het grondwaterstandsverloop vanuit het hydrologische model leidt juist weer tot een afname van droogtestress. In *Figuur 3.13* is te zien dat het grondwaterstandsverloop bij WWL-maatwerk in de zomer iets verder uitzakt ten opzichte van het verloop gesimuleerd met het hydrologische model.

TABEL 3.5 GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN [M-MV] EN LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) BEREKEND MET WWL-REGIONAAL EN WWL-MAAATWERK WAARBIJ DE BEREKENING VAN WWL-MAAATWERK STAPSGEWIJS WORDT Aangepast

	WWL-tabel 1981-2010 De Bilt BOFEK2012	WWL-maatwerk 1981-2010 De Bilt BOFEK2012	WWL-maatwerk 2010-2018 De Bilt BOFEK2012	WWL-maatwerk 2010-2018 Volkel BOFEK2012	WWL-maatwerk 2010-2018 Volkel BODEMKAART	WWL-regionaal 2010-2018 Volkel BODEMKAART
Grondwaterstandskarakteristieken						
GHG	0.67	0.54	0.48	0.70	0.66	0.62
GLG	1.43	1.53	1.53	1.55	1.55	1.42
Opbrengstderiving						
Totaal	10.3	9.2	9.4	13.3	14.2	11.5
- Indirect effecten	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
- Direct effecten	10.2	9.1	9.4	13.3	14.2	11.5
- Droogtestress	9.8	8.6	9.2	13.2	14.1	11.4
- Zuurstofstress	0.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1

FIGUUR 3.13 GRONDWATERSTANDSVERLOOP DOOR HET JAAR HEEN GESIMULEERD MET WWL-REGIONAAL (BOVEN) EN WWL-MAAATWERK (ONDER)



3.3 RHEEZERMATEN

Voor de pilotstudie Rheezermaten zijn de resultaten van WWL-tabel vergeleken met die van WWL-regionaal voor zowel de referentiesituatie als de hydrologische situatie na het uitvoeren van hydrologische maatregelen. Benodigde informatie van het landgebruik, bodemtype, en de grondwaterstandskarakteristieken worden daarbij ontleend aan een hydrologische modelberekening verricht met het MIPWA model.

3.3.1 TOEPASSEN WWL-TABEL

Meteorologie

De meteorologische condities zijn bij het toepassen van de WWL-tabel afkomstig van het weerstation Eelde.

Landgebruik

Net als bij de pilotstudie van De Raam moest het landgebruik zoals deze is gehanteerd bij het MIPWA model vertaald worden naar landgebruikstypen die gebruikt kunnen worden in de WWL-tabel. Na de vertaling bestaat het landgebruik in het pilotgebied Rheezermaten hoofdzakelijk uit gewassen voor de melkveehouderij (52% grasland en 21% snijmais) en aardappelen (15%). Daarnaast zijn er nog enkele percelen met wintertarwe (4%), zaai-uien (4%), suikerbieten (2%), laanbomen (1%) en appelbomen (< 1%), zie *Figuur 3.14*.

FIGUUR 3.14

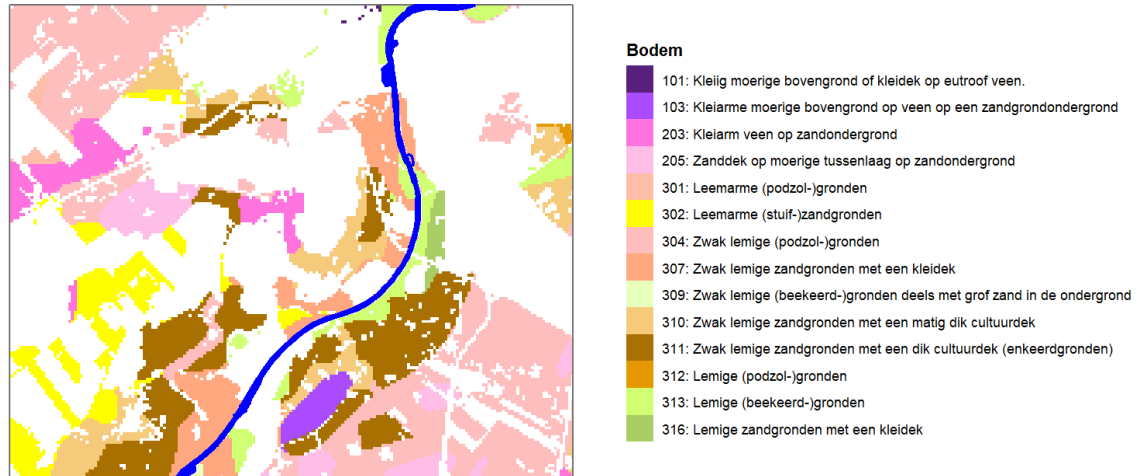
LANDGEBRUIK RHEEZERMATEN



Bodemtype

De bodemschematisering van het hydrologische model is gebaseerd op de Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK2012) (Wösten et al., 2013) en is daarmee vergelijkbaar met de bodemschematisering van de WWL-tabel. Qua bodemtype is er voornamelijk sprake van zandgronden (87%), daarnaast zijn er nog wat moerige gronden (11%) en veengronden (2%). In het pilotgebied Rheezermaten komen de zwak lemige podzolgronden het meeste voor (33%), zie *Figuur 3.15*.

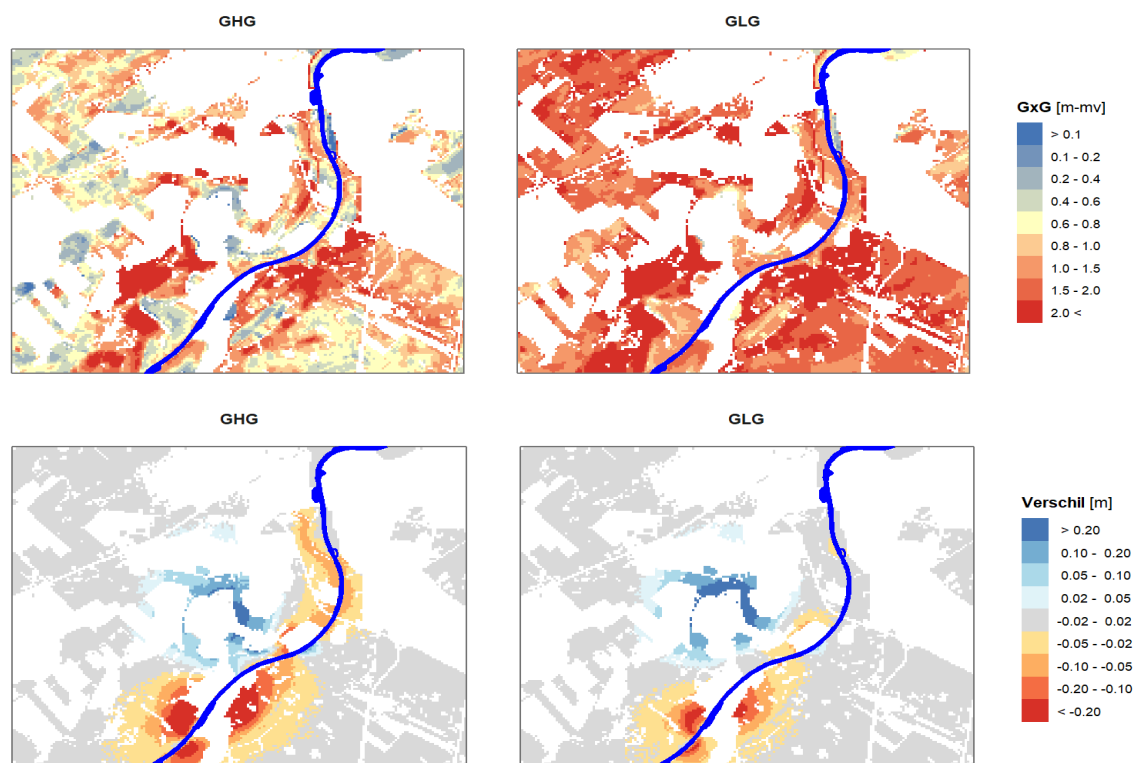
FIGUUR 3.15 BODEMTYPE RHEEZERMATEN; BODEMTYPE GEBASEERD OP BOFEK2012



Grondwaterstandskarakteristieken

De grondwaterstandskarakteristieken in het pilotgebied van Rheezermaten zijn bepaald voor de periode 1996 – 2004. Over het algemeen is er sprake van droge omstandigheden waarbij de grondwaterstand in de winter op veel plaatsen dieper is dan 0.8 m-mv. Ter hoogte van de enkeleerdgronden (veelal hoger gelegen gronden langs de Vecht) zakt de grondwaterstand verder uit (> 2 m-mv), zie *Figuur 3.16* (boven).

FIGUUR 3.16 GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN GHG EN GLG VOOR DE REFERENTIESITUATIE BEPAALD OVER DE PERIODE 1996 – 2004 (BOVEN) EN VERANDERING VAN GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN ALS GEVOLG VAN HYDROLOGISCHE MAATREGELEN (ONDER)



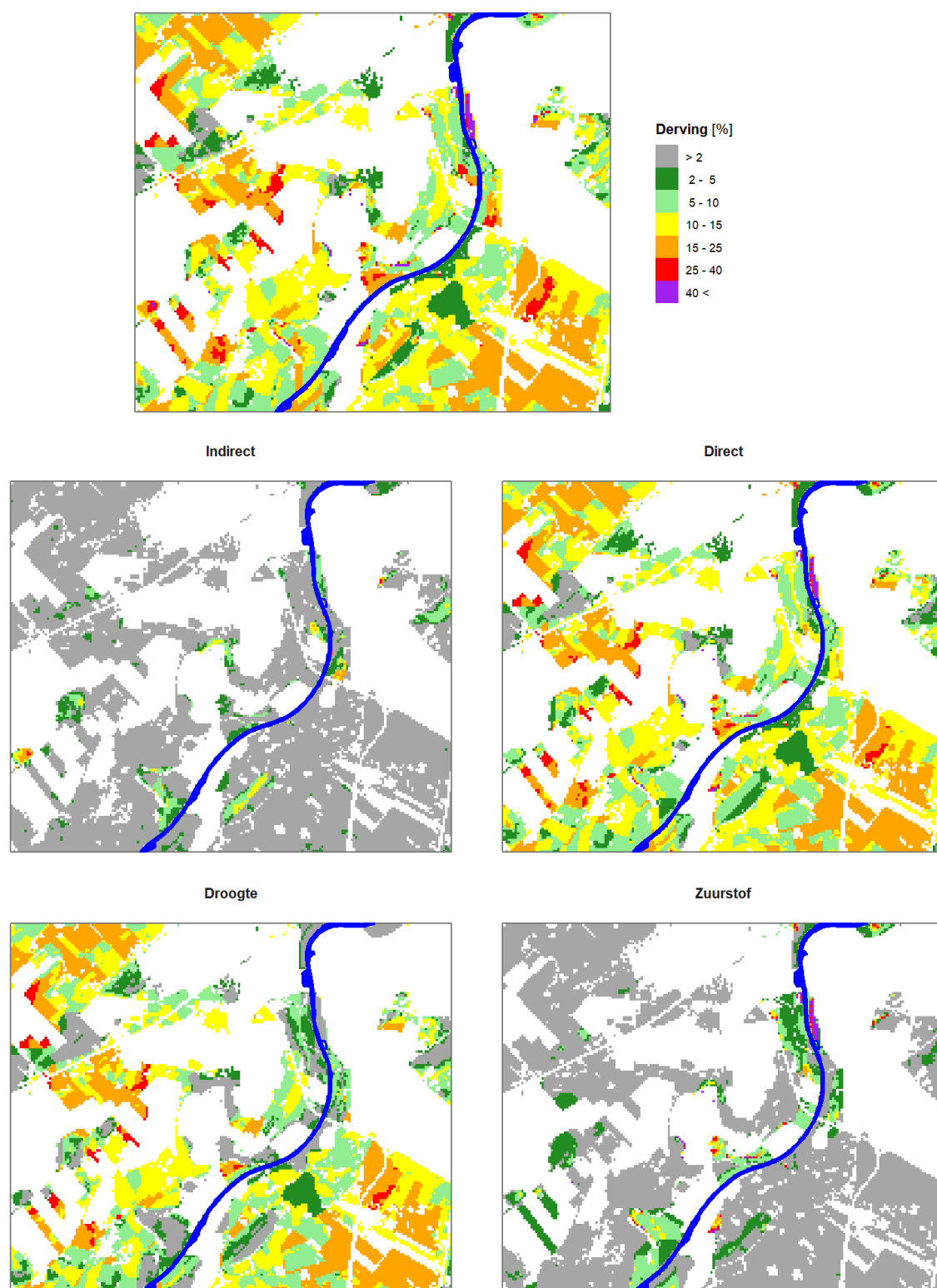
In het gebied Rheezermaten zijn meerdere maatregelen gepland, zoals bijvoorbeeld de aanleg van meanders bij de Vecht, het verondiepen van detailontwatering en de aanleg van plas/dras locaties. Effecten van deze maatregelen op de grondwaterstandskarakteristieken zijn weergegeven in *Figuur 3.16* (onder).

Omdat de simulatieperiode van de hydrologische berekening valt binnen de huidige klimaatperiode (1981 - 2010) is het mogelijk om de langjarig gemiddelde opbrengstderving te bepalen op twee manieren, namelijk over de periode 1981-2010 (direct opvraagbaar met de WWL-tabel) en over de periode 1996 – 2004. In bijlage F is te zien dat de opbrengstderving bepaald over de periode 1996 – 2004 iets minder is doordat er sprake is van minder droogtestress.

In Figuur 3.17 zijn de resultaten van de WWL-tabel weergegeven waarbij de langjarig gemiddelde opbrengstderving is bepaald over de periode 1996 – 2004. De opbrengstderving wordt voornamelijk door droogtestress veroorzaakt. Op enkele plekken langs de Vecht is er sprake van te natte omstandigheden wat zich uit in opbrengstderving als gevolg van zuurstofstress.

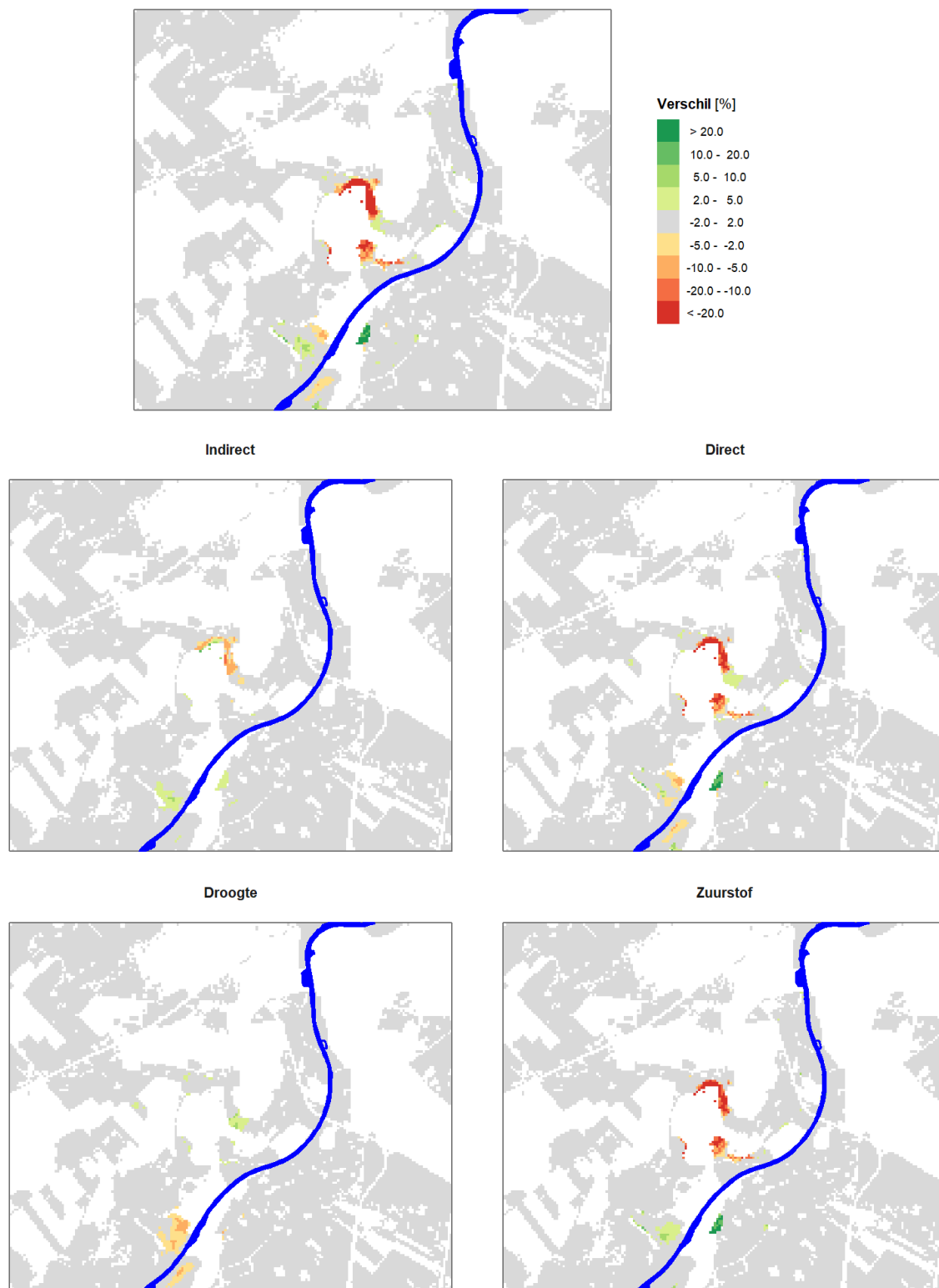
Kijken we naar het effect van de hydrologische maatregelen (Figuur 3.18), dan zien we zowel een toename als een afname van de opbrengstderving. Daar waar de hydrologische maatregelen leiden tot nattere hydrologische condities zien we vooral een toename van de indirecte effecten en de zuurstofstress en een lichte afname van de droogtestress. Op plekken waar de hydrologische maatregelen tot een drogere situatie leiden zien we een omgekeerd effect.

FIGUUR 3.17 GEMIDDELDE OPBRENGSTDERVING (%) VOOR RHEEZERMATEN OVER DE PERIODE 1996 – 2004 (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER) BEREKEND OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 2.0.0



FIGUUR 3.18

VERANDERING VAN DE GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) ALS GEVOLG VAN HYDROLOGISCHE MAATREGELEN VOOR RHEEZERMATEN OVER DE PERIODE 1994-2004 (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER) BEREKEND OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 2.0.0 [%]; GROEN GEEFT AAN DAT HYDROLOGISCHE MAATREGELEN MINDER STRESS OPLEVERT



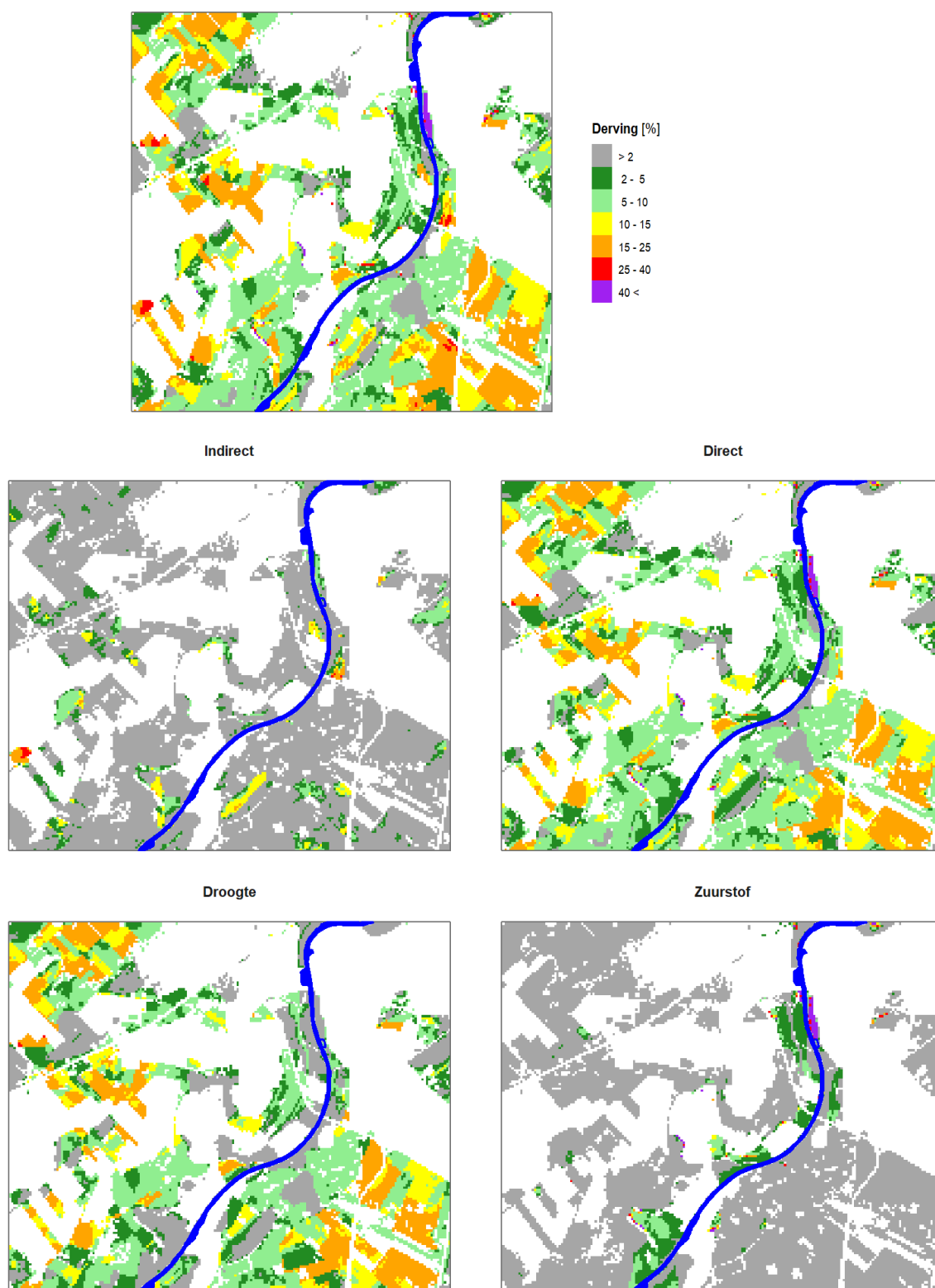
3.3.2 TOEPASSEN WWL-REGIONAAL

Net als bij de pilotstudie voor De Raam worden bij het toepassen van WWL-regionaal voor Rheezermaten de gesimuleerde grondwaterstanden in de vorm van een drukhoogte als onderrandvoorwaarde opgelegd met een temporele resolutie van 14 dagen. De klimatologische omstandigheden zijn voor deze toepassing afkomstig van het weerstation Hoogeveen.

In Figuur 3.19 is de langjarig gemiddelde opbrengstderving gegeven zoals die is bepaald met WWL-regionaal. Net als bij de resultaten van de WWL-tabel wordt de opbrengstderving voornamelijk door droogtestress veroorzaakt en ook nu zijn er op enkele plekken langs de Vecht te natte omstandigheden wat zich uit in opbrengstderving als gevolg van zuurstofstress.

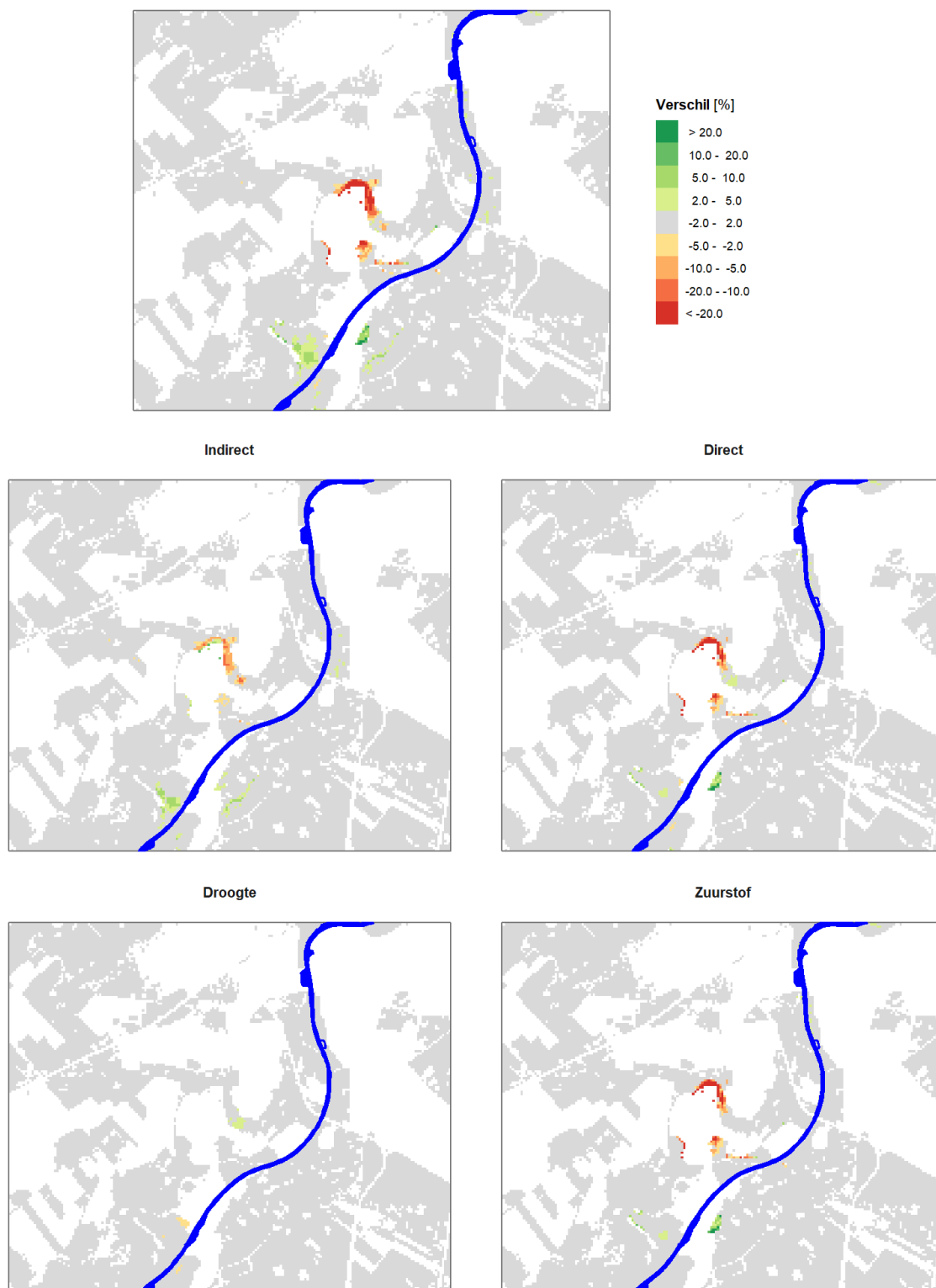
Kijken we naar het effect van de hydrologische maatregelen (Figuur 3.20), dan zien we ook nu zowel een toename als een afname van de opbrengstderving. Als gevolg van de verandering in hydrologische condities zien we vooral de indirecte effecten en de zuurstofstress veranderen, er is bijna geen sprake van een verandering in droogtestress.

FIGUUR 3.19 GEMIDDELDE OPBRENGSTDerving (%) VOOR RHEEZERMATEN OVER DE PERIODE 1996 – 2004 (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER) BEREKEND MET WWL-REGIONAAL



FIGUUR 3.20

VERANDERING IN GEMIDDELTE OPBRENGSTDERIVING (%) VOOR RHEEZERMATEN OVER DE PERIODE 1996 – 2004 ALS GEVOLG VAN HYDROLOGISCHE MAATREGELEN (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER); GROEN GEEFT AAN DAT HYDROLOGISCHE MAATREGELEN MINDER STRESS OPLEVEREN

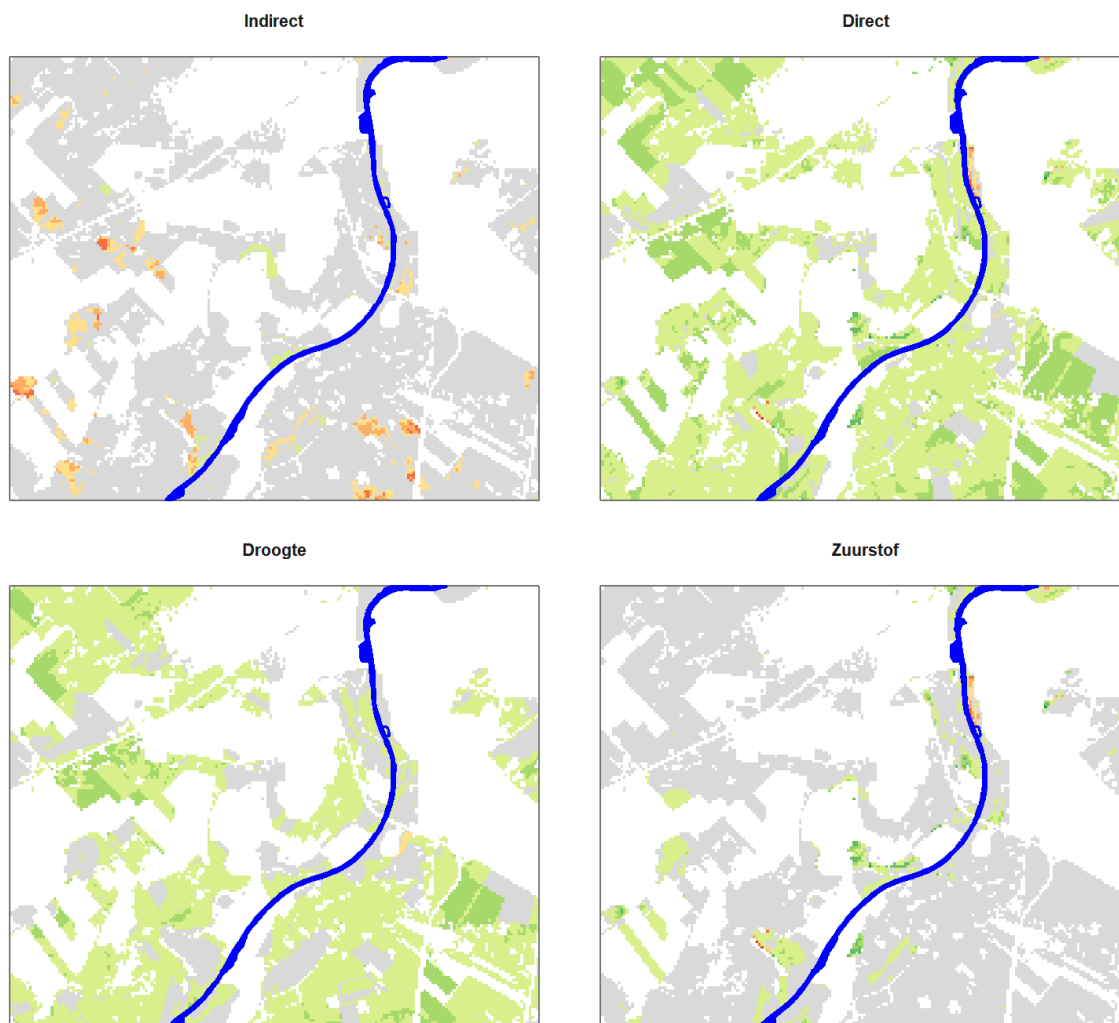


3.3.3 VERGELIJKING REFERENTIESITUATIE

In Figuur 3.21 is het verschil tussen de resultaten van de WWL-tabel en WWL-regionaal weergegeven. Ten opzichte van de WWL-tabel berekent WWL-regionaal zowel minder droogtestress als minder zuurstofstress over de periode 1996 – 2004. Op enkele percelen is een toename van de indirecte effecten te zien. Over het algemeen kan gesteld worden dat de verschillen niet heel groot zijn, op veel percelen is het verschil kleiner dan 5%.

Maken we ook een vergelijking voor een nat jaar (1998) en een droog jaar (2003) dan zien we grotere verschillen tussen beide methoden, zie bijlage G. Voor het natte jaar berekent WWL-regionaal minder zuurstofstress terwijl voor het droge jaar minder droogtestress wordt berekend. Het lijkt er dus op dat de WWL-tabel in deze pilotstudie wat extremer reageert op droge en natte omstandigheden dan WWL-regionaal. Een aantal percelen met wintertarwe laten vooral in 2003 minder droogtestress zien. Waardoor deze verschillen worden veroorzaakt wordt ter plaatse van een perceel nabij Brucht (B) verder onderzocht (zie voor de ligging van de locatie Figuur 3.21).

FIGUUR 3.21 VERSCHIL IN GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) VOOR RHEEZERMATEN BEREKEND MET DE WWL-TABEL EN WWL-REGIONAAL (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER); GROEN GEEFT AAN DAT WWL-REGIONAAL MINDER STRESS BEREKEND



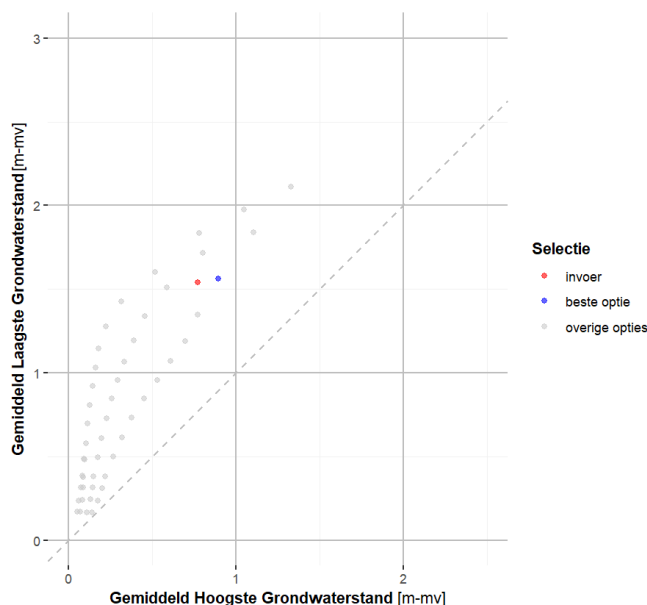
Bij Brucht is er sprake van wintertarwe op een zwak lemige (podzol-)grond (BOFEK2012 304) onder droge omstandigheden met een GHG van 0.77 m-mv en een GLG van 1.54 m-mv. In Tabel 3.6 is een overzicht van de langjarig gemiddelde opbrengstderving weergegeven berekend met de WWL-tabel en WWL-regionaal.

TABEL 3.6 LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDerving BEREKEND MET WWL-TABEL EN WWL-REGIONAAL [%]

	WWL-tabel 1996-2004 Eelde BOFEK2012	WWL-regionaal 1996-2004 Hoogeveen BOFEK2012
Referentie		
Totaal	13.0	4.2
- Indirect effecten	0.0	0.0
- Direct effecten	13.0	4.2
- Droogtestress	12.4	4.1
- Zuurstofstress	0.6	0.1

De berekende opbrengstderving van de WWL-tabel is aanzienlijk hoger dan bij de WWL-regionaal. We maken opnieuw gebruik van WWL-maatwerk om een SWAP-WOFOST simulatie te selecteren die is gebruikt bij het afleiden van de WWL-metarelaties (zie *Figuur 3.22*). Door de meteorologische condities te wijzigen en het grondwaterstandsverloop vanuit het hydrologische model over te nemen krijgen we dezelfde resultaten als WWL-regionaal.

FIGUUR 3.22: SELECTIE SWAP-WOFOST SIMULATIE DIE GEBRUIKT IS BIJ HET AFLEIDEN VAN WWL-METARELATIES (BRUCHT) OP BASIS VAN DE VOORKOMENDE GHG-GLG COMBINATIE



In Tabel 3.7 zijn de resultaten van deze aanpassing stapsgewijs weergegeven. Ook nu zien we dat de WWL-maatwerk toepassing (blauw) nagenoeg dezelfde resultaten opleveren in vergelijking met de WWL-tabel. Het aanpassen van de meteorologische condities leidt tot een afname van droogtestress. Gedurende de simulatieperiode 1996 – 2004 wordt ter plaatse van het weerstation Hoogeveen circa 2% meer neerslag gemeten ten opzichte van Eelde wat een verklaring kan zijn voor deze afname.

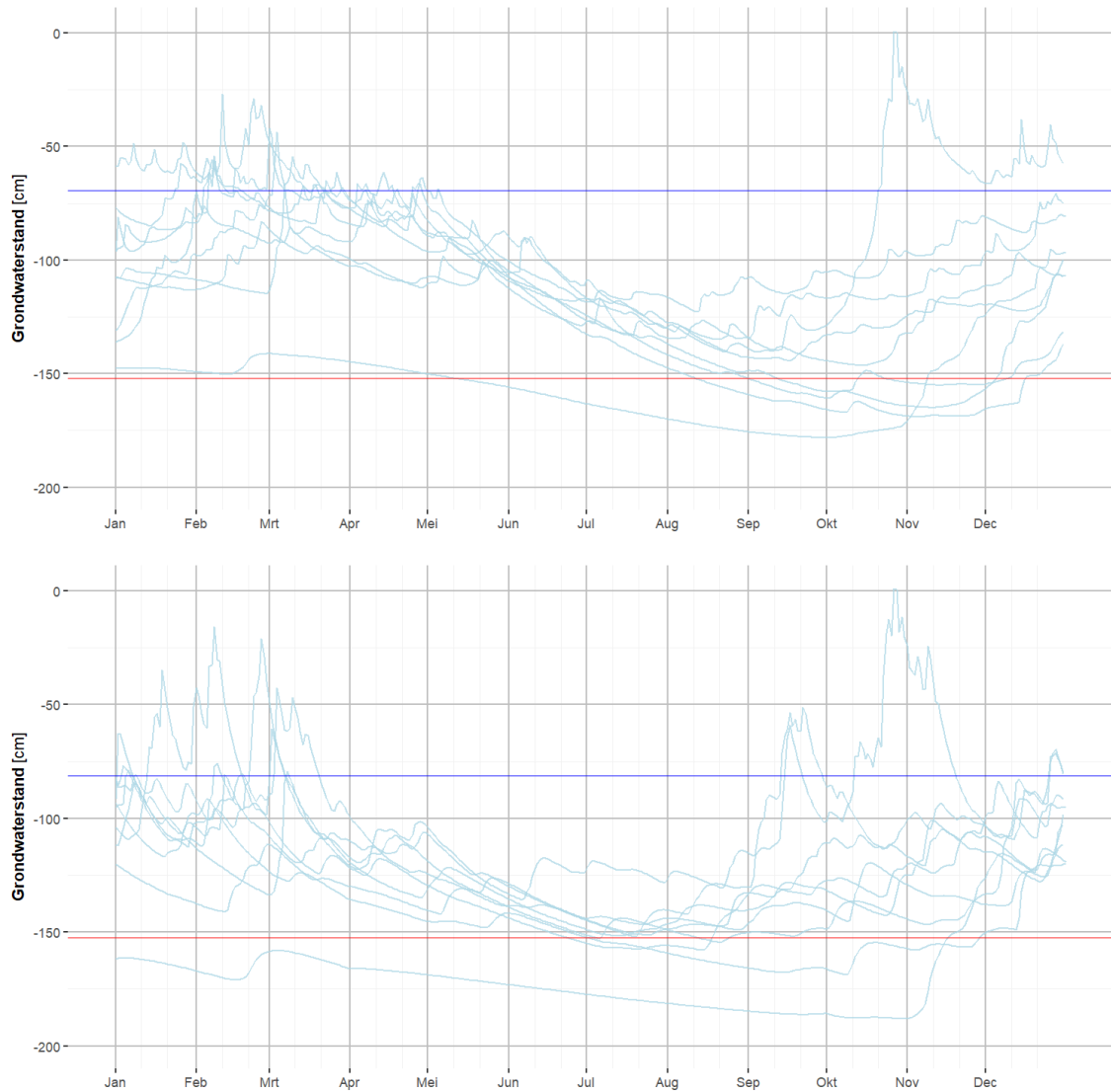
TABEL 3.7

GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN [M-MV] EN LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING [%] BEREKEND MET WWL-REGIONAAL EN WWL-MAAFWERK WAARBIJ DE BEREKENING VAN WWL-MAAFWERK STAPSGEWIJS WORDT AANGEPAST

	WWL-tabel	WWL-maatwerk	WWL-maatwerk	WWL-regionaal
	1996-2004	1996-2004	1996-2004	1996-2004
	Eelde	Eelde	Hoogeveen	Hoogeveen
	BOFEK2012	BOFEK2012	BOFEK2012	BOFEK2012
Grondwaterstandskarakteristieken				
GHG	0.77	0.80	0.81	0.69
GLG	1.54	1.56	1.53	1.52
Opbrengstderving				
Totaal	13.0	12.9	9.7	4.2
- Indirect effecten	0.0	0.0	0.0	0.0
- Direct effecten	13.0	12.9	9.7	4.2
- Droogtestress	12.4	12.9	9.7	4.1
- Zuurstofstress	0.6	0.1	0.0	0.1

Het overnemen van het grondwaterstandsverloop vanuit het hydrologische model leidt tenslotte tot een verdere afname van droogtestress. In *Figuur 3.23* is te zien dat gedurende de winterperiode de hydrologische condities bij WWL-regionaal iets natter lijken te zijn dan bij WWL-maatwerk. Daarnaast zakt in het voorjaar de grondwaterstand minder snel uit hetgeen in dit geval leidt tot een afname van droogtestress.

FIGUUR 3.23 GRONDWATERSTANDSVERLOOP DOOR HET JAAR HEEN GESIMULEERD MET WWL-REGIONAAL (BOVEN) EN WWL-MATWERK (ONDER)

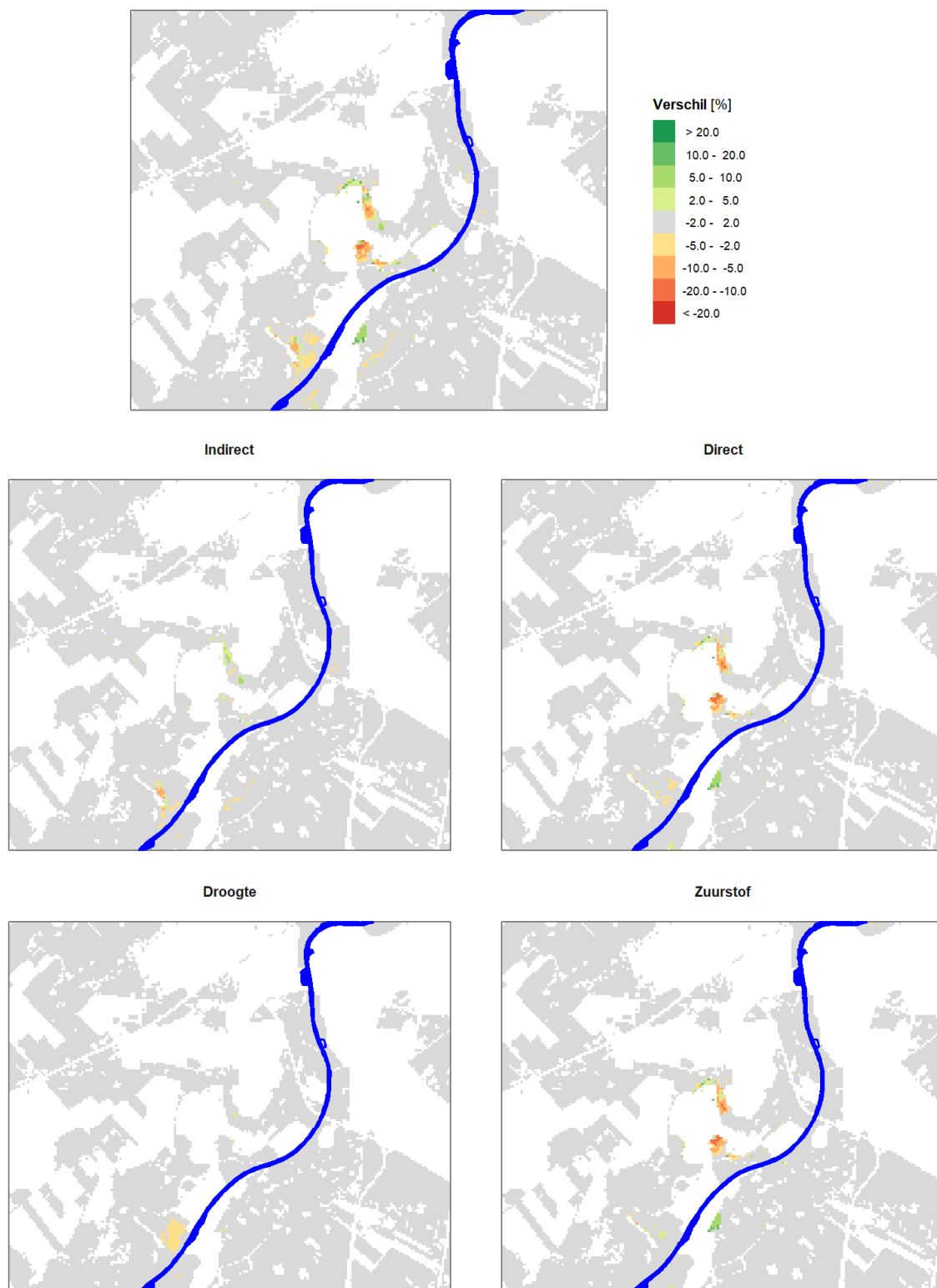


3.3.4 VERGELIJKING EFFECT HYDROLOGISCHE MAATREGELEN

Een vergelijking van de verandering van de langjarig gemiddelde opbrengstderving als gevolg van hydrologische maatregelen berekend door de WWL-tabel en WWL-regionaal is weergegeven in Figuur 3.24. Hierin is te zien dat de verandering van de opbrengstderving negatiever uitpakt wanneer dit wordt bepaald met de WWL-tabel. Vooral onder natte omstandigheden is de toename van zuurstofstress groter in vergelijking met WWL-regionaal. Zoals reeds eerder is geconcludeerd kunnen de verschillen tussen WWL-tabel en WWL-regionaal onder natte omstandigheden groot zijn.

FIGUUR 3.24

VERSCHIL IN VERANDERING VAN DE GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) VOOR RHEEZERMATEN OVER DE PERIODE 1996 – 2004 ALS GEVOLG VAN HYDROLOGISCHE MAATREGELEN (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER); GROEN GEEFT AAN DAT WWL-REGIONAAL MEER DERIVING BEREKEND ALS GEVOLG VAN DE HYDROLOGISCHE MAATREGELEN TEN OPZICHTE VAN DE WWL-TABEL



3.4 MARIAPEEL

Voor de pilotstudie Mariapeel gaan we de resultaten van WWL-tabel vergelijken met die van WWL-regionaal voor zowel de referentiesituatie als de hydrologische situatie na het uitvoeren van hydrologische maatregelen. Benodigde informatie van het landgebruik, bodemtype, en de grondwaterstandskarakteristieken worden daarbij ontleend aan een hydrologische modelberekening verricht met het IBRAHYM model.

3.4.1 TOEPASSEN WWL-TABEL

Meteorologie

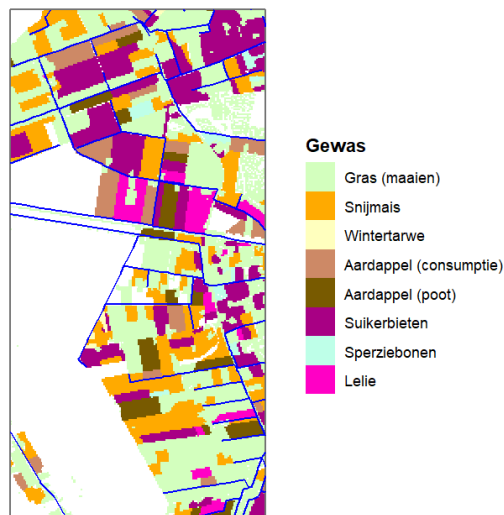
De meteorologische condities zijn bij het toepassen van de WWL-tabel afkomstig van het weerstation De Bilt.

Landgebruik

Net als bij de voorgaande pilotstudies is het landgebruik vertaald naar categorieën die in de WWL-tabel worden gebruikt. Na de vertaling bestaat het landgebruik in het pilotgebied van Mariapeel uit gewassen voor de melkveehouderij (42% grasland en 19% snijmais) en suikerbieten (19%). Daarnaast zijn er nog enkele percelen met aardappelen (bestaande uit 7% consumptieaardappelen en 6% pootaardappelen), lelies (4%), sperziebonen (1%) en winter-tarwe (< 1%), zie *Figuur 3.25*.

FIGUUR 3.25

LANDGEBRUIK MARIAPEEL

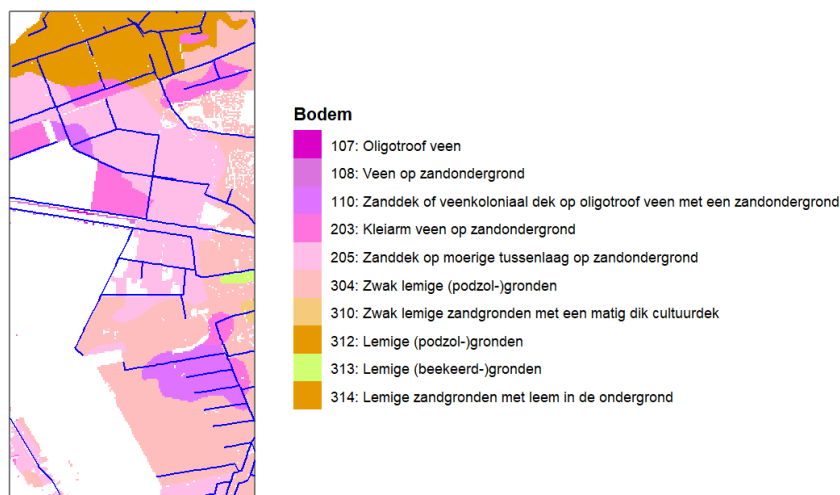


Bodemtype

De bodemschematisering van het hydrologische model is gebaseerd op de Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK2012; Wösten et al., 2013). Qua bodemtype is er voornamelijk sprake van zandgronden (55%) en moerige gronden (39%), op enkele plekken zijn er veengronden (7%). In het pilotgebied van Mariapeel komen de zwak lemige podzolgronden het meeste voor (38%), zie *Figuur 3.26*.

FIGUUR 3.26

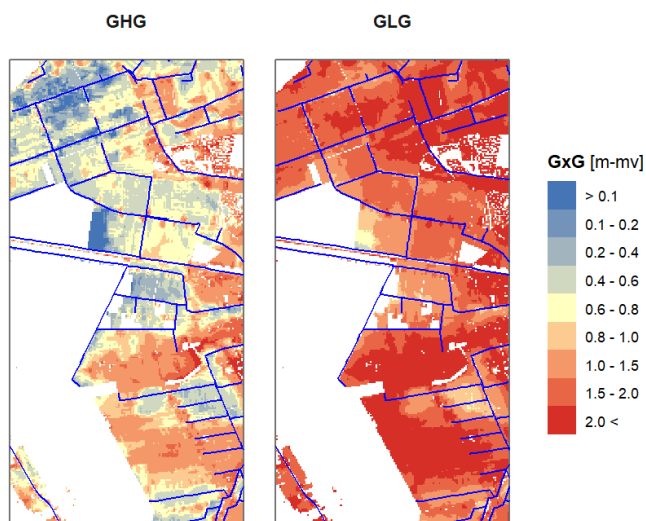
BODEMTYPE MARIAPEEL; BODEMTYPE GEBASEERD OP BOFEK2012

*Grondwaterstandskarakteristieken*

De grondwaterstandskarakteristieken in het pilotgebied Mariapeel zijn weergegeven in *Figuur 3.27*. In de zomer zakt het grondwater relatief diep uit (vaak tot meer dan 2 m-mv). In de winter zijn er relatief natte situaties bij de moerige gronden en veengronden, maar bij de zandgronden blijven de hydrologische condities relatief droog.

FIGUUR 3.27

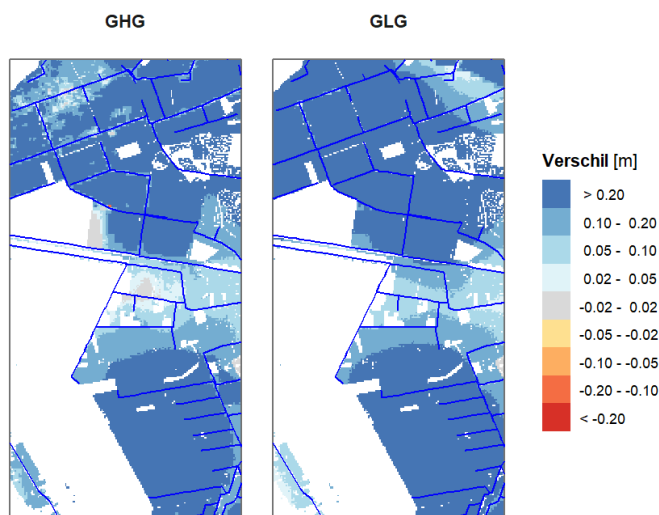
GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN GHG EN GLG VOOR DE REFERENTIESITUATIE BIJ MARIAPEEL



In het pilotgebied van Mariapeel is een verkenning gedaan naar het effect van vernattingsmaatregelen. Als gevolg van de maatregelen stijgt zowel de GHG als de GLG met meer dan 20 cm, zie *Figuur 3.28*.

FIGUUR 3.28

VERANDERING VAN DE GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN ALS GEVOLG VAN VERNATTINGSMAATREGELEN



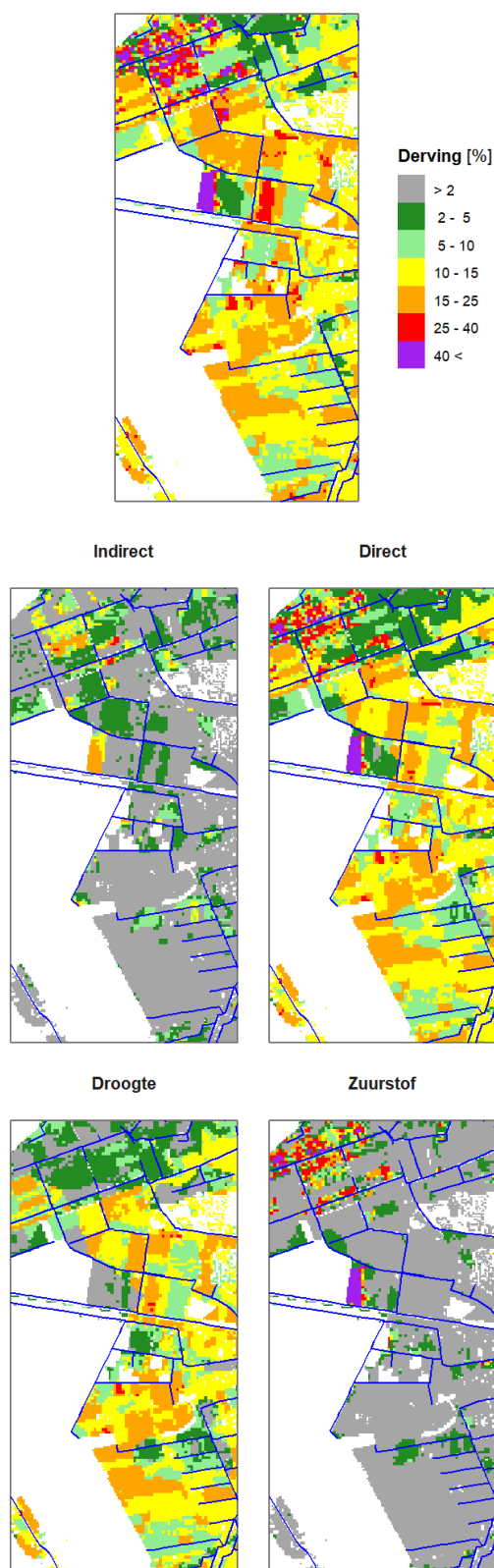
In Figuur 3.29 zijn de resultaten van de WWL-tabel voor Mariagepeel weergegeven. Hierbij is de langjarig gemiddelde derving bepaald over de periode 1998 – 2005 door het gemiddelde te nemen van de absolute derving voor de individuele jaren.

De gemiddelde opbrengstderving wordt veroorzaakt door zowel te natte omstandigheden als te droge omstandigheden. Op enkele plekken waarbij de GHG vrij ondiep voorkomt is sprake van indirecte effecten en relatief veel zuurstofstress.

Daarnaast is gekeken hoe de opbrengstderving verandert als gevolg van de hydrologische maatregelen, zie Figuur 3.30. Als gevolg van de vernattingsmaatregelen zien we vooral een toename van de opbrengstderving als gevolg van zowel indirecte effecten als zuurstofstress. Dit wordt maar deels gecompenseerd door een afname in droogtestress. In Figuur 3.31 is de verandering van de opbrengstderving ook weergegeven voor een nat jaar en een droog jaar, respectievelijk 1998 en 2003. In het natte jaar zien we dat bij de vernattingsmaatregelen de opbrengstderving nog verder toeneemt. In het droge jaar 2003 is er sprake van zowel voor- als nadelen van de vernattingsmaatregelen.

FIGUUR 3.29

GEMIDDELDE OPBRENGSTDerving (%) VOOR MARIAPEEL OVER DE PERIODE 1998 – 2005 (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER) BEREKEND OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 2.0.0



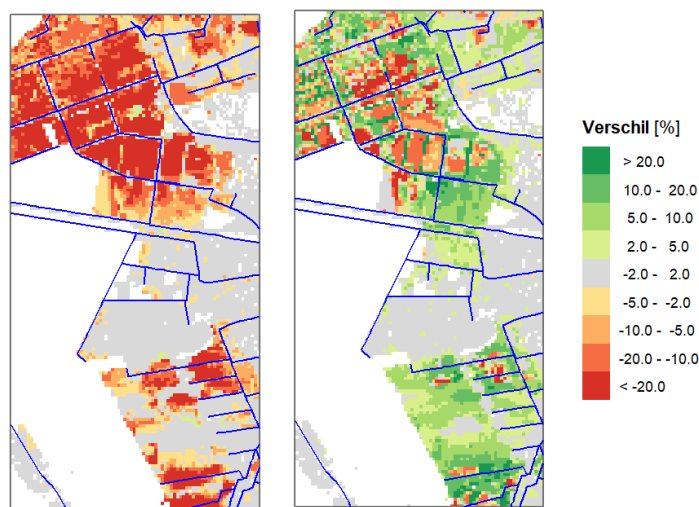
FIGUUR 3.30

VERANDERING VAN DE GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) ALS GEVOLG VAN HYDROLOGISCHE MAATREGELEN VOOR MARIAPEEL OVER DE PERIODE 1998-2005 (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER) BEREKEND OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 2.0.0



FIGUUR 3.31

VERANDERING IN OPBRENGSTDerving (%) ALS GEVOLG VAN HYDROLOGISCHE MAATREGELEN WEERGEGEVEN VOOR EEN NAT JAAR (LINKS; 1998) EN EEN DROOG JAAR (RECHTS; 2003) BEREKEND OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 2.0.0; GROEN GEEFT AAN DAT HYDROLOGISCHE MAATREGELEN MINDER STRESS OPLEVERT



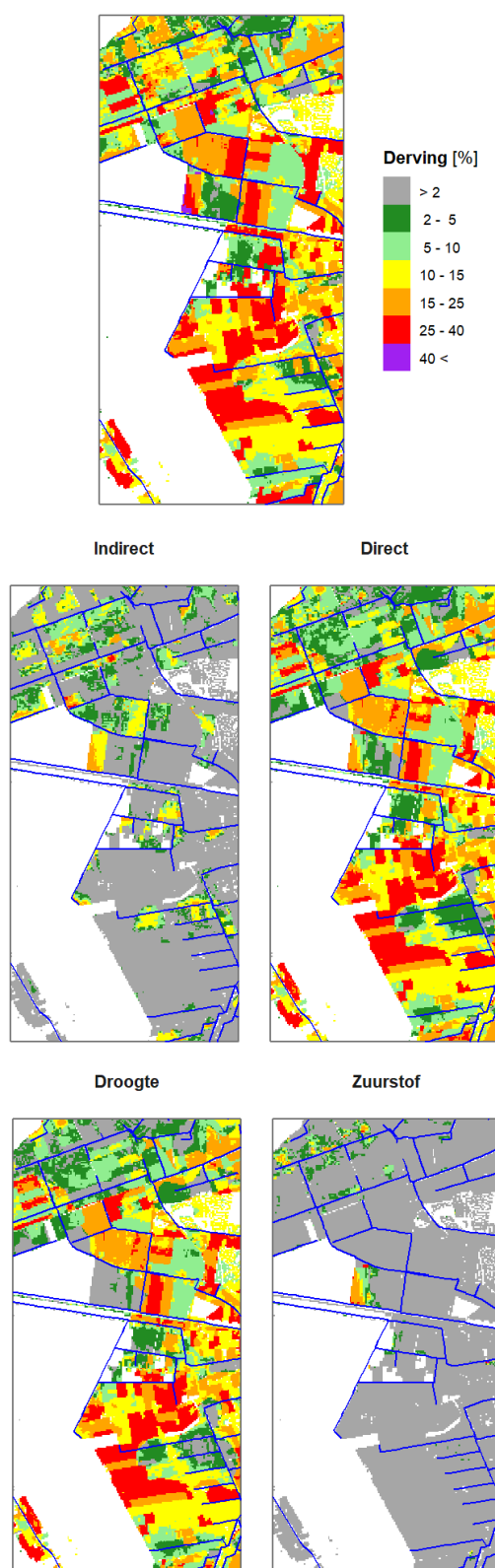
3.4.2 TOEPASSEN WWL-REGIONAAL

De met het IBRAHYM-model gesimuleerde grondwaterstanden worden in de vorm van een drukhoogte als onderrandvoorwaarde opgelegd aan SWAP-WOFOST met een temporele resolutie van 14 dagen. De klimatologische omstandigheden zijn bij het toepassen van WWL-regionaal afkomstig van het weerstation Arcen.

In Figuur 3.32 is de langjarig gemiddelde opbrengstderving volgens WWL-regionaal weergegeven. Hierin is te zien dat de opbrengstderving in vrijwel het gehele gebied wordt veroorzaakt door voornamelijk droogtestress. Op enkele plekken waarbij de GHG vrij ondiep voorkomt is sprake van indirecte effecten en zuurstofstress.

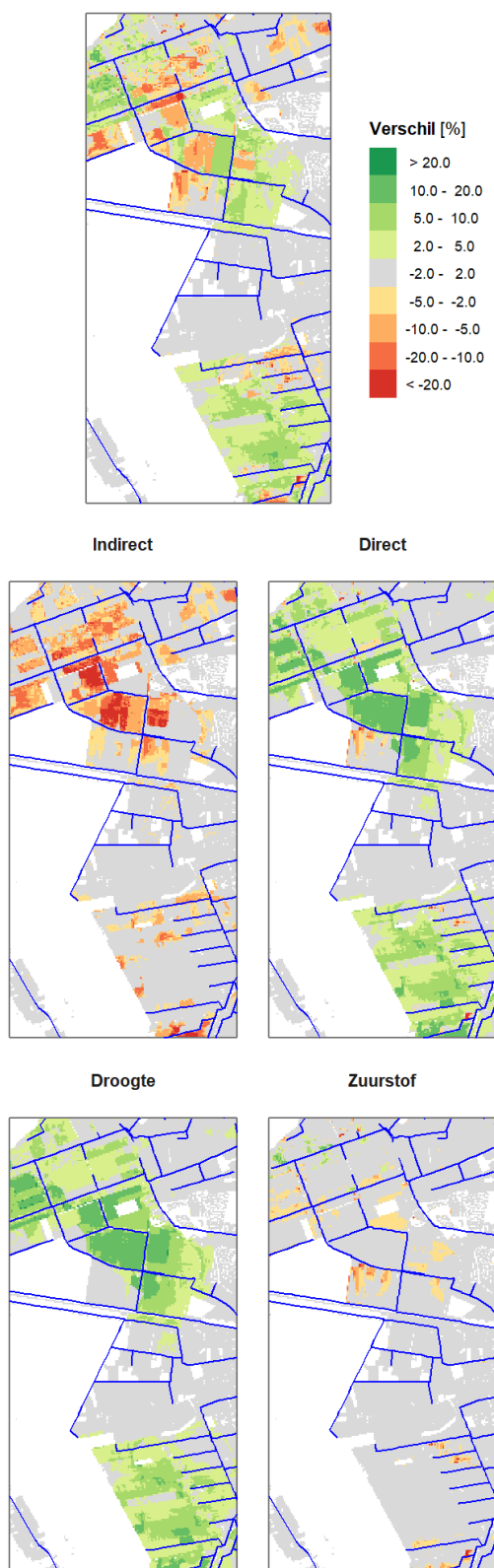
Als gevolg van de vernattingsmaatregelen zien we in Figuur 3.33 over de gehele periode vooral een toename van de indirecte effecten en een afname van de droogtestress. Slechts op enkele plekken neemt de zuurstofstress toe. In Figuur 3.34 is de verandering van de opbrengstderving ook weergegeven voor een nat jaar en een droog jaar, respectievelijk 1998 en 2003. In het natte jaar zien we dat de vernattingsmaatregelen zowel voor- als nadelen voor de gewasopbrengst hebben. Op relatief natte percelen neemt de zuurstofstress toe en op relatief droge percelen neemt de droogtestress af. De vernattingsmaatregelen hebben in het droge jaar in vrijwel het gehele gebied een positief effect op de opbrengstderving als gevolg van afname van de ondervonden droogtestress.

FIGUUR 3.32 GEMIDDELDE OPBRENGSTDERVING (%) VOOR MARIAPEEL OVER DE PERIODE 1998 – 2005 (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER) BEREKEND MET WWL-REGIONAAL



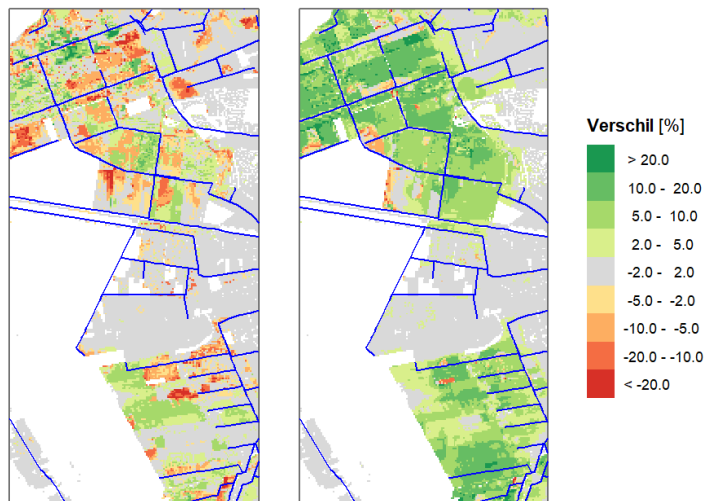
FIGUUR 3.33

VERANDERING IN GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) VOOR MARIAPEEL OVER DE PERIODE 1998 – 2005 ALS GEVOLG VAN HYDROLOGISCHE MAATREGELEN (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER); GROEN GEEFT AAN DAT HYDROLOGISCHE MAATREGELEN MINDER STRESS OPLEVERT



FIGUUR 3.34

VERANDERING IN OPBRENGSTDERIVING (%) VOOR MARIAPEEL ALS GEVOLG VAN HYDROLOGISCHE MAATREGELEN WEERGEGEVEN VOOR EEN NAT JAAR (LINKS; 1998) EN EEN DROOG JAAR (RECHTS; 2003); GROEN GEEFT AAN DAT HYDROLOGISCHE MAATREGELEN MINDER STRESS OPLEVERT



3.4.3 VERGELIJKING REFERENTIESITUATIE

In Figuur 3.35 is het verschil tussen de resultaten van de WWL-tabel en WWL-regionaal weergegeven. Ten opzichte van de WWL-tabel berekent WWL-regionaal aanzienlijk meer droogtestress en minder zuurstofstress over de periode 1998 – 2005. Hoewel er minder zuurstofstress wordt berekend is er op enkele plekken toch sprake van een toename in de indirecte effecten. Het verschil in opbrengstderving kan lokaal oplopen tot meer dan 20% bij zeer natte hydrologische condities. Op veel percelen is de droogtestress berekend met WWL-regionaal 5 – 10% hoger. Dit wordt ter plaatse van een perceel nabij Zwarte Plak (Z) nader onderzocht (zie voor de ligging van de locatie Figuur 3.35).

FIGUUR 3.35

VERSCHIL IN GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) VOOR MARIAPEEL BEREKEND MET DE WWL-TABEL EN WWL-REGIONAAL (BOVEN)
 UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER); GROEN GEEFT AAN DAT
 WWL-REGIONAAL MINDER STRESS BEREKEND



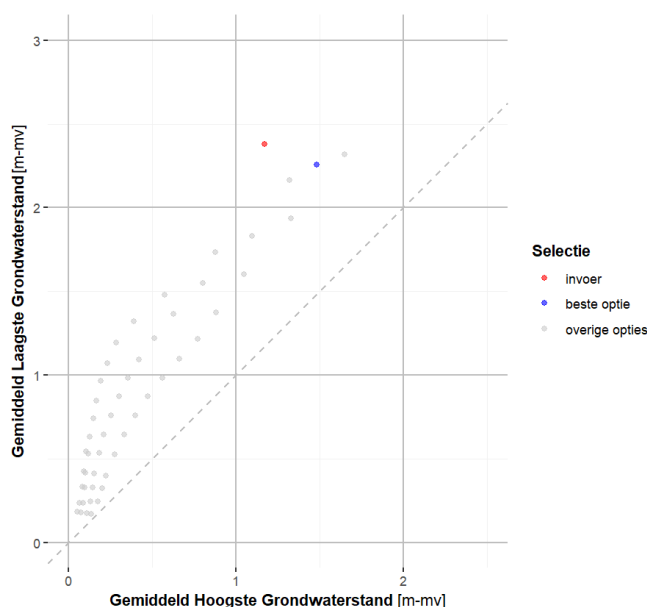
Bij Zwarte Plak is er sprake van snijmais op een zwak lemige (podzol-)grond (BOFEK2012 304) onder droge omstandigheden met een GHG van 1.17 m-mv en een GLG van 2.38 m-mv. In Tabel 38 is een overzicht van de langjarig gemiddelde opbrengstderving weergegeven berekend met de WWL-tabel en WWL-regionaal.

TABEL 3 8 LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDerving (%) BEREKEND MET WWL-TABEL EN WWL-REGIONAAL

	WWL-tabel 1998-2005 De Bilt BOFEK2012	WWL-regionaal 1998-2005 Arcen BOFEK2012
Referentie		
Totaal	23.6	32.0
- Indirect effecten	0.5	0.1
- Direct effecten	23.1	31.9
- Droogtestress	22.9	31.7
- Zuurstofstress	0.2	0.2

De berekende opbrengstderving van de WWL-tabel is aanzienlijk lager dan bij de WWL-regionaal. We maken opnieuw gebruik van WWL-maatwerk om stapsgewijs de SWAP-WOFOST simulatie aan te passen zodat deze steeds meer gaat lijken op de SWAP-WOFOST simulatie van WWL-regionaal (zie *Figuur 3.36* voor selectie SWAP-WOFOST berekening). Hiervoor passen we de meteorologische condities aan en nemen het grondwaterstandsverloop over vanuit het hydrologische model.

FIGUUR 3.36 SELECTIE SWAP-WOFOST SIMULATIE DIE GEBRUIKT IS BIJ HET AFLEIDEN VAN WWL-METARELATIES (ZWARTE PLAK) OP BASIS VAN DE VOORKOMENDE GHG-GLG COMBINATIE



In Tabel 3.9 zijn de resultaten van de stapsgewijze aanpassing weergegeven. De WWL-metarelaties presteren goed onder droge omstandigheden aangezien de WWL-maatwerk toepassing (blauw) nagenoeg dezelfde resultaten opleveren in vergelijking met de WWL-tabel. Het aanpassen van de meteorologische condities leidt tot een aanzienlijke toename van de droogtestress, dit wordt met name veroorzaakt doordat ter plaatse van het weerstation Arcen

14% minder neerslag wordt gemeten ten opzichte van De Bilt gedurende de simulatieperiode 1998 – 2005. Ook is te zien dat na de aanpassing van de meteorologische condities de hydrologische condities aanzienlijk droger zijn (zie GHG en GLG in Tabel 3.9).

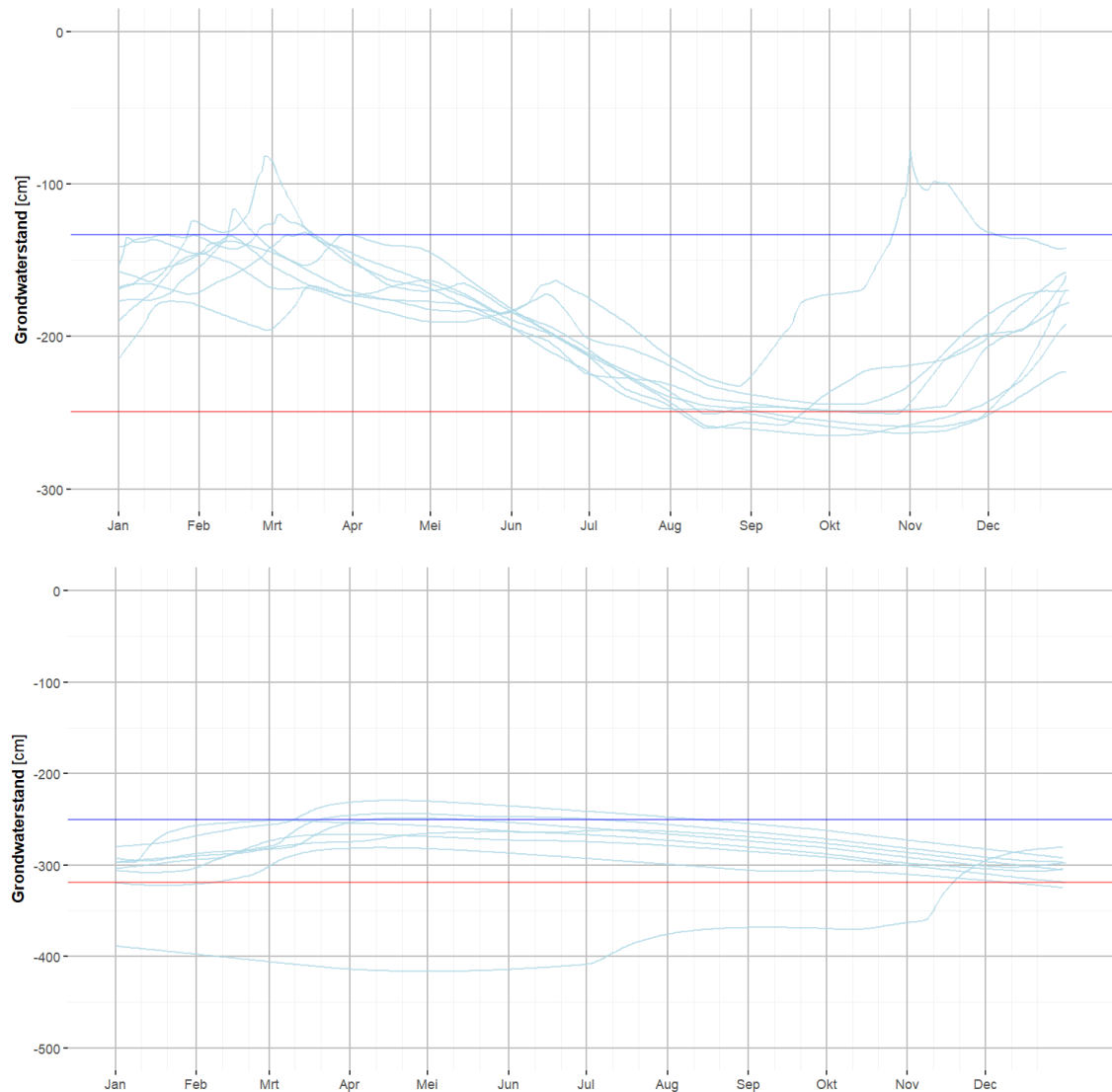
TABEL 3.9

GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN [M-MV] EN LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDerving (%) BEREKEND MET WWL-REGIONAAL EN WWL-MAAFWERK WAARBIJ DE BEREKENING VAN WWL-MAAFWERK STAPSGEWIJS WORDT AANGEPAST

	WWL-tabel 1998-2005 De Bilt BOFEK2012	WWL-maatwerk 1998-2005 De Bilt BOFEK2012	WWL-maatwerk 1998-2005 Arcen BOFEK2012	WWL-regionaal 1998-2005 Arcen BOFEK2012
Grondwaterstandskarakteristieken				
GHG	1.17	1.17	2.50	1.33
GLG	2.38	2.15	3.19	2.49
Opbrengstderving				
Totaal	23.6	23.1	33.2	32.0
- Indirect effecten	0.5	0.2	0.2	0.1
- Direct effecten	23.1	22.9	33.0	31.9
- Droogtestress	22.9	22.7	32.8	31.7
- Zuurstofstress	0.2	0.2	0.2	0.2

Met het overnemen van het gesimuleerde grondwaterstandsverloop vanuit het hydrologische model worden de hydrologische condities aanzienlijk natter, zie *Figuur 3.37*. Maar dit leidt tot slechts een lichte afname van droogtestress. Ondanks de nattere hydrologische omstandigheden is er nog steeds sprake van een relatief droge situatie (Gt VII). Simulatie van droogtestress is onder deze relatief droge situaties niet gevoelig.

FIGUUR 3.37 GRONDWATERSTANDSVERLOOP DOOR HET JAAR HEEN GESIMULEERD MET WWL-REGIONAAL (BOVEN) EN WWL-MATWERK (ONDER)



3.4.4 VERGELIJKING EFFECT HYDROLOGISCHE MAATREGELEN

Vergelijkbaar met de pilotstudie Rheezermaten kunnen we ook nu een vergelijking maken van de verandering van de langjarig gemiddelde opbrengstderving als gevolg van hydrologische maatregelen berekend door de WWL-tabel en WWL-regionaal (zie *Figuur 3.38*). Net als bij de pilotstudie Rheezermaten pakt de verandering van de opbrengstderving negatiever uit wanneer dit wordt bepaald met de WWL-tabel. Ook nu is dat voornamelijk het geval onder natte omstandigheden.

FIGUUR 3.38

VERSCHIL IN VERANDERING VAN DE GEMIDDELTE OPBRENGSTDERIVING (%) VOOR MARIAPEEL OVER DE PERIODE 1998 – 2005 ALS GEVOLG VAN HYDROLOGISCHE MAATREGELEN (BOVEN) UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER); GROEN GEEFT AAN DAT WWL-REGIONAAL MEER DERIVING BEREKEND ALS GEVOLG VAN DE HYDROLOGISCHE MAATREGELEN TEN OPZICHTE VAN DE WWL-TABEL



4

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 WWL-METARELATIES

In 2020 zijn verschillende wijzigingen doorgevoerd voor Waterwijzer Landbouw (WWL) bij het afleiden van nieuwe WWL-metarelaties voor de WWL-tabel. De belangrijkste wijzigingen zijn:

- Er is gebruik gemaakt van bodemfysische gegevens van de nieuwe Staringreeks voor bovendien meerdere bodemprofielen;
- Er is gerekend met andere (flexibelere) randvoorwaarden voor het modelinstrumentarium op basis van meerdere drainagemiddelen en kwel/wegzijging;
- Het beregeningscriterium is aangepast waarbij de gehele wortelzone wordt beschouwd;
- Het compensatiemechanisme voor transpiratiereductie is toegepast waardoor de resultaten minder gevoelig worden voor de gesimuleerde wortelontwikkeling.

Als gevolg van de bovengenoemde wijzigingen zijn de resultaten van de nieuwe WWL-metarelaties verbeterd. De belangrijkste verbeteringen zijn:

- De nieuwe metarelaties laten een aanzienlijke verbetering zien van de simulatie van droogtestress bij zandgronden. De toename van de droogtestress wordt voornamelijk veroorzaakt door de bodemfysische gegevens van de nieuwe Staringreeks;
- Er is een afname te zien van de zuurstofstress onder natte omstandigheden door het meenemen van maaiveld drainage.

De bodemeenheden met (zware) klei in het profiel laten ook bij de nieuwe WWL-metarelaties teveel droogtestress zien voor situaties onder natte omstandigheden. De wijziging in de bodemfysische eigenschappen heeft dit probleem dat we ook bij WWL 1.0 zagen niet opgelost. Deze problemen beperken zich niet alleen tot Waterwijzer Landbouw maar hebben ook betrekking op andere modeltoepassingen zoals het NHI en afgeleiden daarvan.

4.2 MAATWERK

Voor maatwerk op een specifieke locatie of op het niveau van stroomgebieden zijn respectievelijk WWL-maatwerk en WWL-regionaal beschikbaar. Binnen het programma Lumbricus zijn bij drie waterschappen pilotstudies uitgevoerd waarbij zowel de WWL-tabel als WWL-regionaal zijn toegepast. De resultaten zijn met elkaar vergeleken waarbij soms grote verschillen zijn geconstateerd. Op een aantal punten is met behulp van WWL-maatwerk inzichtelijk gemaakt waardoor deze verschillen zijn ontstaan.

De belangrijkste constatering van de verschillen tussen WWL-tabel en WWL-regionaal zijn hieronder weergegeven:

- Wat bij alle pilotstudies opvalt is dat de opbrengstderving onder natte hydrologische condities groter is wanneer de WWL-tabel wordt toegepast. Een verklaring hiervoor is dat de WWL-tabel (en daarmee de WWL-metarelaties) het aandeel zuurstofstress vooral hoog

inschat bij relatief natte voorjaarsomstandigheden in combinatie met zomercondities waarbij de grondwaterstand tot circa 1 m-mv uitzakt. De WWL-metarelaties weten de opbrengstderving onder droge omstandigheden wel goed na te bootsen.

- Wat verder opvalt in de pilotstudies is dat het gebruik van lokale meteorologische omstandigheden belangrijk zijn. Simulaties met meer of minder neerslag leiden direct tot een sterke toename dan wel afname van de droogtestress.
- Het overnemen van de lokaal bekende grondwaterstandsverlopen lijkt voor de hier beschouwde pilotstudies van iets minder belang. Dat kan ook betekenen dat de gesimuleerde grondwaterstandsverlopen van de SWAP-WOFOST simulaties die gebruikt zijn bij het afleiden van de WWL-metarelaties 2.0.0 dus een goed uitgangspunt zijn.

Het toepassen van WWL-regionaal in een groter gebied is goed mogelijk gebleken. Een punt van zorg kan hierbij wel de behoefte aan voldoende reken capaciteit zijn. Het voordeel van de WWL-tabel is dat het snel resultaten oplevert en gebruikt kan worden voor een eerste indruk van de opbrengstderving.

4.3 AANBEVELINGEN

Al met al kunnen we, gezien de geconstateerde verschillen in de opbrengstderving, aanbevelen om WWL-regionaal op stroomgebiedsniveau toe te passen om zo gebruik te maken van lokale en/of gedetailleerder invoergegevens. Voor een klein gebied is het relatief eenvoudig om verschillende (gevoeligheids-)analyses uit te voeren die inzicht geven in de onzekerheid van de gesimuleerde opbrengstderving.

Ondanks dat de nieuwe WWL-metarelaties verbeterd zijn willen we benadrukken dat er nog geen validatie van Waterwijzer Landbouw heeft plaatsgevonden. Zo is niet vast te stellen hoe goed of hoe slecht het instrumentarium presteert. Het uitvoeren van een gedegen validatie is een vereiste voor het bepalen van de toepasbaarheid en bruikbaarheid van WWL. De resultaten van de Groenmonitor lijken een goede mogelijkheid te bieden om validatie uit te voeren. Het is daarom onze aanbeveling om dit zo snel mogelijk uit te voeren.

De veranderingen in de bodemfysische eigenschappen na de update van de Staringreeks hebben geen effect gehad op de berekende droogtestress bij kleigronden onder natte omstandigheden. Omdat alternatieve beschrijvingen voor of afleidingen van deze bodemfysische eigenschappen geen verbetering opleverden, wordt voorlopig voorgesteld nader aandacht te besteden aan beworteling en feitelijke beschrijving van wateropname.

In de onderstaande tabel worden de kenmerken, het toepassingsbereik en de benodigde invoergegevens van de WWL-producten samengevat.

	WWL-tabel	WWL-regionaal	WWL-maatwerk
basis	WWL-metarelaties, gebaseerd op berekeningen met SWAP-WOFOST	Modelinstrumentarium SWAP-WOFOST en regionaal hydrologisch model	Modelinstrumentarium SWAP-WOFOST
Schaal toepassing	Nationaal en regionaal	Regionaal	Perceel/punt
bodemgegevens	Bodemfysische Eenhedenkaart BOFEK (NB: BOFEK bevat Staringreeks)	Regionaal beschikbare bodemgegevens of eventueel standaard bodemprofielen (368) + Staringreeks	één bodemprofiel
Hydrologische gegevens	Grondwaterstands-karakteristieken GHG en GLG	Tijdreeksen van grondwaterstanden en/fluxen	Tijdreeks van grondwaterstand en/of flux
Meteorologische gegevens	Keuze uit 5 hoofdstations	Meteodata van elk gewenst weerstation	Meteodata van elk gewenst weerstation
Klimaatscenario's	Huidig weer (1981-2010) en Klimaatscenario Wh (2036-2065)	Alle opties zijn mogelijk	Alle opties zijn mogelijk
Gewassen	10 meest voorkomende gewassen	23 meest voorkomende gewassen	23 meest voorkomende gewassen

LITERATUUR

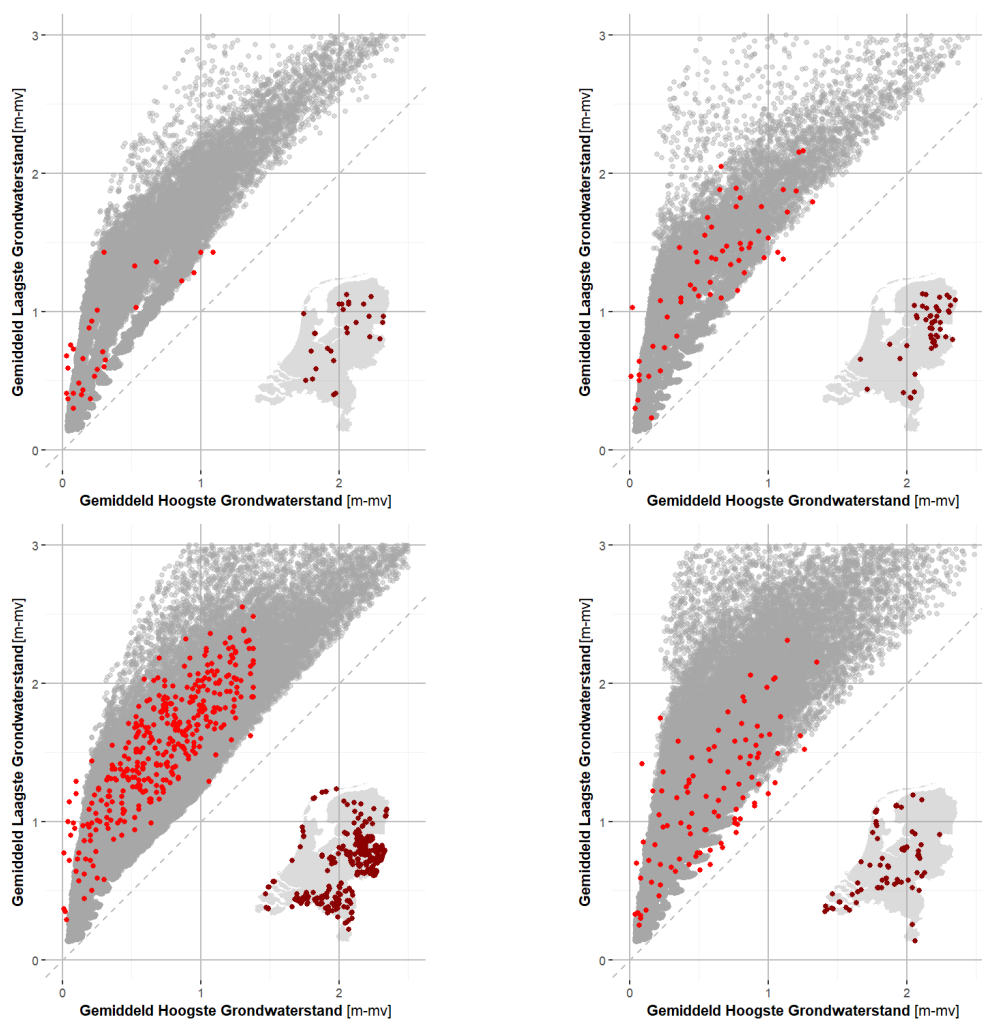
- Van Bakel, P. J. T., Huinink, J., Prak, H. & van der Bolt, F., 2005. *HELP-2005, Uitbreiding en actualisering van de HELP-tabellen ten behoeve van het Waternood-instrumentarium*. STOWA, STOWA 2005-16.
- Van Bakel, P. J. T., van der Waal, B. H. C., De Haan, M. H. A., Spruyt, J. & Evers, A., 2007. *HELP-2006: uitbreiding en actualisering van de HELP-2005 tabellen te behoeve van het waternood-instrumentarium*. STOWA, STOWA 2007-13.
- Van Bakel, P. J. T., Linderhof, V., Van 't Klooster, C. E., Veldhuizen, A. A., Goense, D., Mulder, H. M. & Massop, H. T. L., 2009. *Definitiestudie AGRICOM*. Alterra, Alterra-rapport 1934.
- Van Bracht, M., 1988. *OLGA: On Line Grondwater Archief*. Rapport PN88-11, DGV-TNO.
- Boogaard, H.L., A.J.W. de Wit, J.A. te Roller & C.A. van Diepen, 2011. *User's guide for the WOFOST Control Center 1.8 and WOFOST 7.1.3 crop growth simulation model*. Wageningen. Available at: <http://www.wofost.wur.nl>
- Bouwmans, J. M. M., 1990, *Achtergrond en toepassing van de TCGB-tabel; Een methode voor het bepalen van de opbrengstdepressie van grasland op zandgrond als gevolg van een grondwaterstandsverlaging*. Technische Commissie Grondwater Beheer.
- Dam, J.C. van, Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A. & Kroes, J.G., 2008. *Advances of Modeling Water Flow in Variably Saturated Soils with SWAP*. Vadose Zone Journal, 7(2), 640–653.
- Van der Gaast, J. W. J., Massop, H. T. L., Vroon, H. R. J. en Staritsky, I. G., 2007. *Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken*. H₂O: tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling. 40, 19, p. 65-68.
- Genuchten, M. Th. Van, F. J. Leij and L. Wu, 1997. *Proceedings of the International Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media*. Riverside, California, 22-24 October 1997.
- Hack-ten Broeke, M., J. Kroes, R. Hendriks, R. Bartholomeus, J. van Bakel & I. Hoving. 2013. *Actualisatie schadefuncties voor de landbouw, tussenfase 2a: plausibiliteitstoets SWAP en enkele verkennende berekeningen*. Rapport 2013-37, STOWA, Amersfoort.
- Heinen, M., Mulder, M., Walvoort, D.J.J., Bartholomeus, R., Stofberg, S.F., Hack-ten Broeke, M.J.D., 2017. *Praktijktoets Waterwijzer Landbouw in pilotgebieden de Raam en Vecht*. STOWA, Amersfoort, [Rapport 2017-44](#).
- Heinen, M., Bakker, G. & Wösten, J.H.M., 2020. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks; Update 2018*. Wageningen Environmental Research, Wageningen. Rapport 2978.
- Hoogland, T., Knotters, M., Pleijter, M. & Walvoort, D.J.J., 2014. *Actualisatie van de grondwatertrapkaart van holoceen Nederland; Resultaten van het veldonderzoek*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2612. 69 blz.; 21 fig.; 21 tab.; 15 ref.
- Jarvis, N.J. 2011. *Simple physics-based models of compensatory plant water uptake: concepts and ecological hydrological consequences*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 3431-3446.

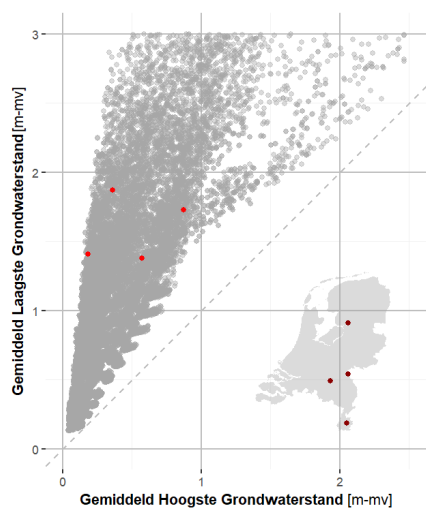
- Knotters., M. J. van Bakel, R. Bartholomeus, M. Hack-ten Broeke, R. Hendriks, G. Holshof, I. Hoving, J. Kroes, M. Mulder & D. Walvoort. 2017. *Waterwijzer landbouw fase 3: naar een operationeel systeem voor gras en maïs*. Rapport 2017-07, STOWA, Amersfoort.
- Knibbe, M., Marsman, B., 1961. *Grondwatertrapindeling in Overijsselse zandgronden*. Voorlopige wetenschappelijke mededelingen (no 16). Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.
- Kroes, J.G., P.J.T. van Bakel, J. Huygen, T. Kroon, R. Pastoors, 2001. *Actualisatie van de hydrologie voor STONE 2.0*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 298. Reeks Milieuplanbureau 16. 68 blz. 14. fig.; 14 tab.; 29 ref.
- Kroes, J. G., van Dam, J. C., Bartholomeus, R. P., Groenendijk, P., Heinen, M., Hendriks, R. F. A., van Walsum, P. E. V. (2017). *SWAP version 4; Theory description and user manual*. (Report 2780), Wageningen Environmental Research, Wageningen, The Netherlands. Available at: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/522980>.
- Mulder, H.M. & A.A. Veldhuizen, 2017. *AGRICOM 2.05. Theorie en gebruikershandleiding*. Alterra-rapport 2576d.
- Mulder, H.M., van Huijgevoort, M., Bartholomeus, R. & Hack-ten Broeke, M., 2019. *Pilottoepassingen van Waterwijzer Landbouw in Laag Nederland*. STOWA, Amersfoort (Stowa rapport; no. 2019-31).
- Van der Sluijs, P., van Egmond, T., 1976. *Facetten van grondwatertrappen in zandgronden*. Rapport nr. 1329, Stiboka, Wageningen.
- STOWA, 1999. *STOWA onderzoeksprogramma Waternood: STOWA*.
- Werkgroep HELP-tabel, 2006. *De invloed van waterhuishouding op de landbouwkundige productie*. Rapport van de werkgroep HELP-tabel. Utrecht, Mededelingen Landinrichtingsdienst 176.
- Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018. *Waterwijzer Landbouw instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie*. STOWA, Amersfoort. Stowa rapport: [no. 2018-48](#).
- Wösten, J. H. M., M. H. Bannink en J. Beuving, 1987. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. STIBOKA (Rapport 1932), ICW (Rapport 18).
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman & J. Stolte. 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Vernieuwde uitgave 1994. Staring Centrum Technisch Document 18, SC-DLO, Wageningen.
- Wösten, J. H. M., G. J. Veerman, W. J. M. de Groot, J. Stolte, 2001. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks (vernieuwde uitgave 2001)*. Alterra, Wageningen. Rapport [153](#).
- Wösten, H., F. De Vries, T. Hoogland, H. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman, 2013. *BOFEK 2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland*. Alterra, Wageningen. Rapport [2387](#). Beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/247678>

BIJLAGE A

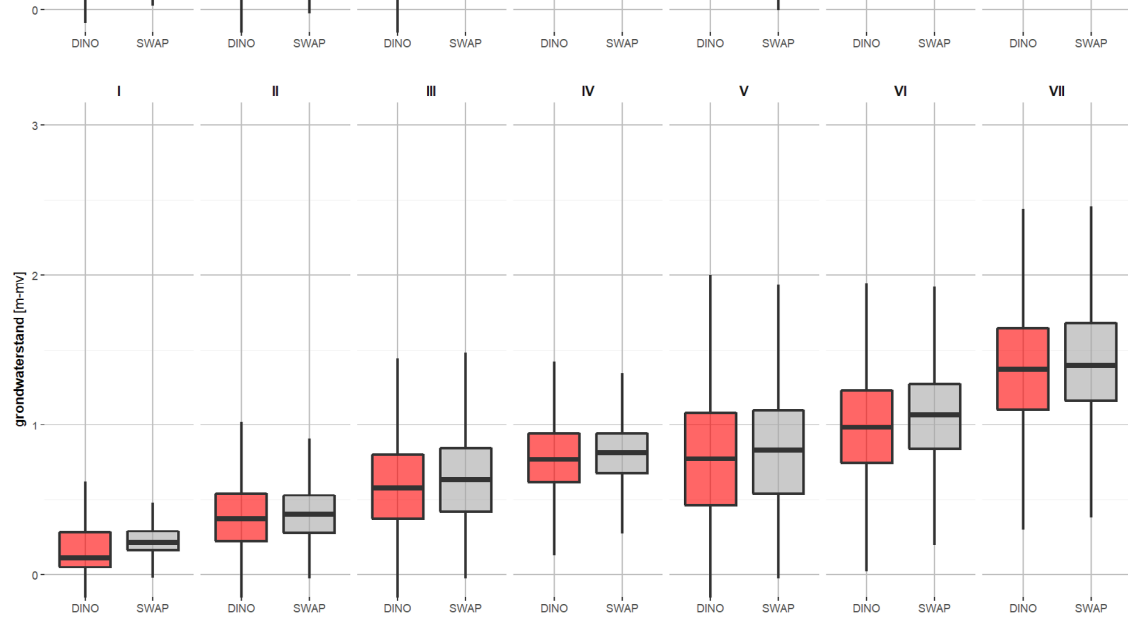
VERGELIJKING DINOLOKET

FIGUUR A.1 BEREIK VAN DINO PEILBUISGEGEVENS (ROOD) EN SWAP-WOFOST SIMULATIES (GRIJS) IN HET GHG-GLG DOMEIN; VAN LINKSBOVEN TOT RECHTSONDER VOOR ALLE VEENGRONDEN, MOERIGE GRONDEN, ZANDGRONDEN, KLEIGRONDEN EN LÖSSGRONDEN

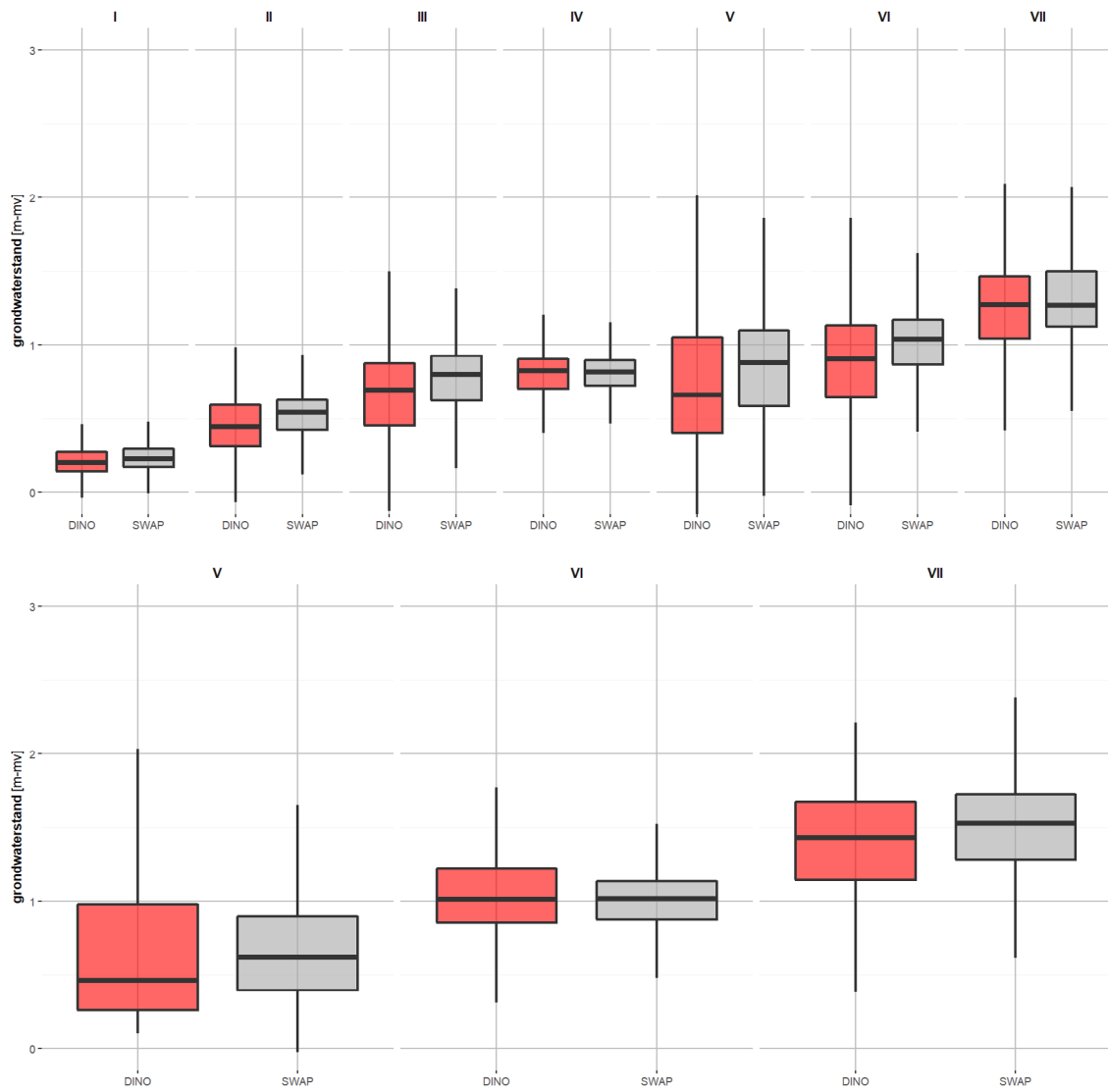




FIGUUR A.2 VERGELIJKING VAN DYNAMIEK ONDER VERSCHILLENDE HYDROLOGISCHE OMSTANDIGHEDEN (GT-KLASSEN); MET IN HET ROOD DE DYNAMIEK DE DINO PEILBUISGEGEVENS EN IN HET GRIJS DE SWAP-WOFOST SIMULATIES; VAN BOVEN TOT ONDER VOOR ALLE VEENGRONDEN, MOERIGE GRONDEN, ZANDGRONDEN



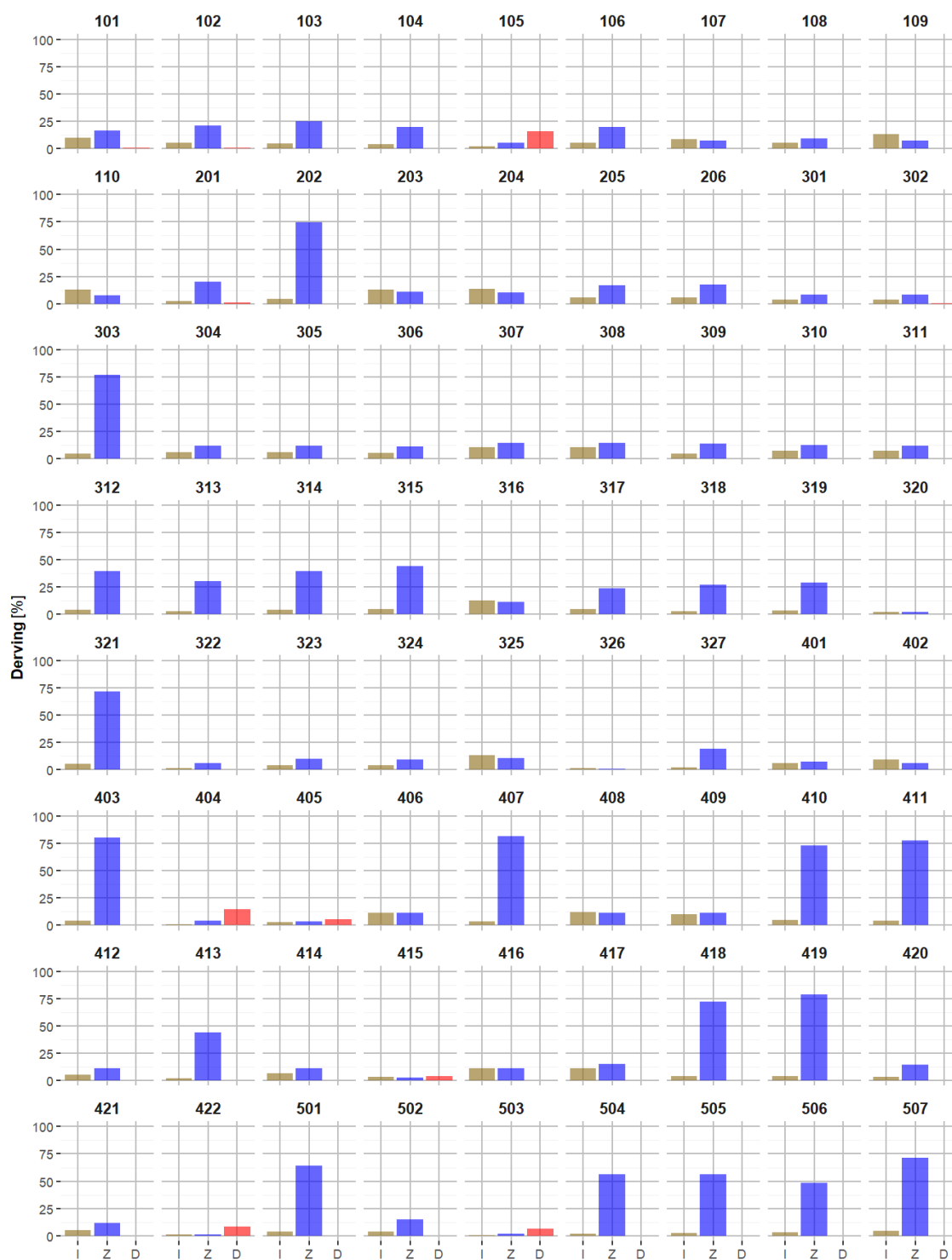
FIGUUR A.3 VERGELIJKING VAN DYNAMIEK ONDER VERSCHILLENDE HYDROLOGISCHE OMSTANDIGHEDEN (GT-KLASSEN); MET IN HET ROOD DE DYNAMIEK DE DINO PEILBUIISGEGEVENS EN IN HET GRIJS DE SWAP-WOFOST SIMULATIES; VOOR ALLE KLEIGRONDEN (BOVEN) EN LÖSSGRONDEN (ONDER)



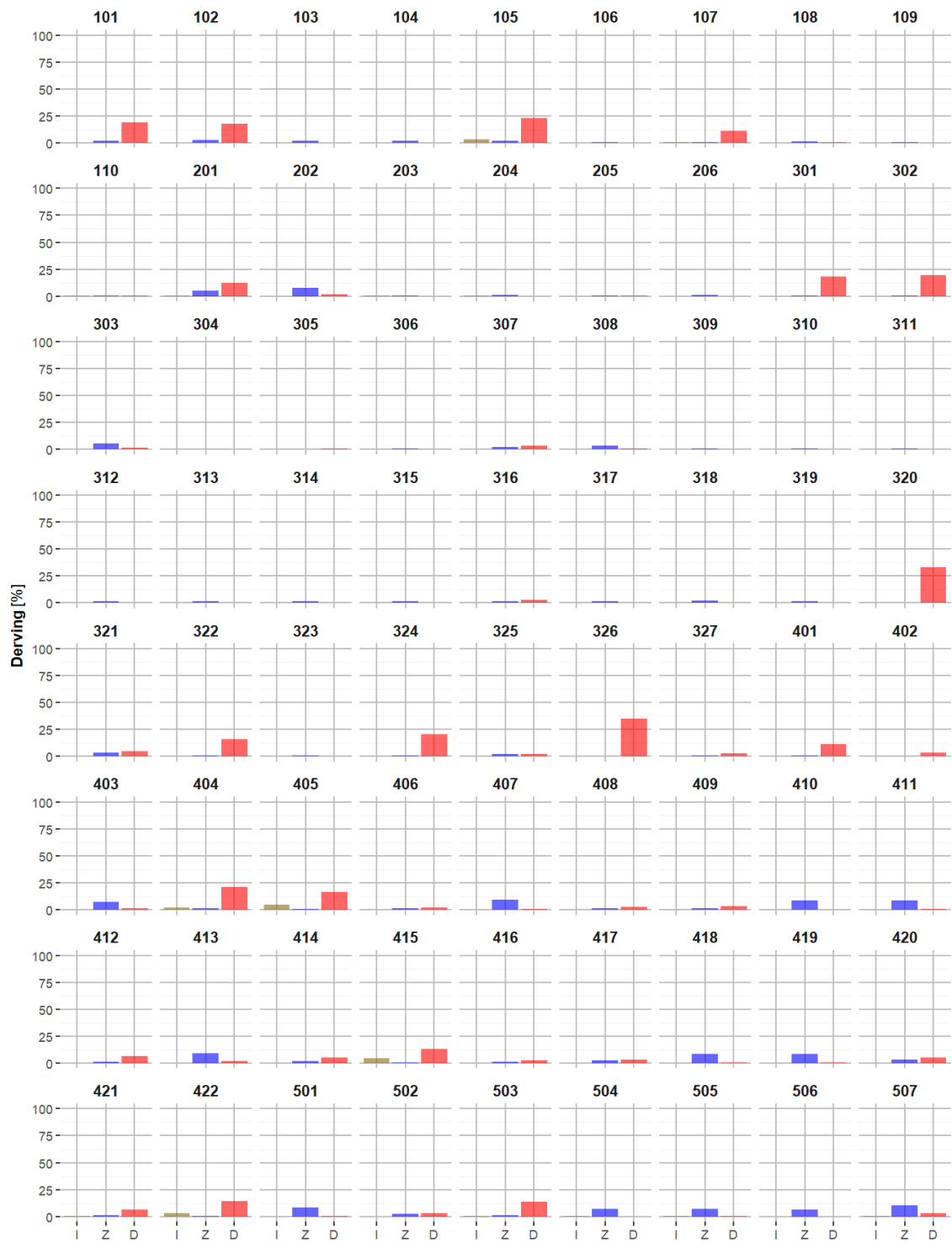
BIJLAGE B

RESULTATEN WWL-METARELATIES VERSIE 1.0.0

FIGUUR B.1 LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) ONDER NATTE OMSTANDIGHEDEN (GHG: 0.3 M-MV; GLG: 0.6 M-MV) PER BOFEK2012-EENHEID OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 1.0.0 EN UITGESPLITST IN INDIRECTE EFFECTEN (I; BRUIN), ZUURSTOFSTRESS (Z; BLAUW) EN DROOGTESTRESS (D; ROOD)



FIGUUR B.2 LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) ONDER DROGE OMSTANDIGHEDEN (GHG: 1.5 M-MV; GLG: 2.0 M-MV) PER BOFEK2012-EENHEID OP BASIS VAN WWL-METARELATIES 1.0.0 EN UITGESPLITST IN INDIRECTE EFFECTEN (I; BRUIN), ZUURSTOFSTRESS (Z; BLAUW) EN DROOGTESTRESS (D; ROOD)

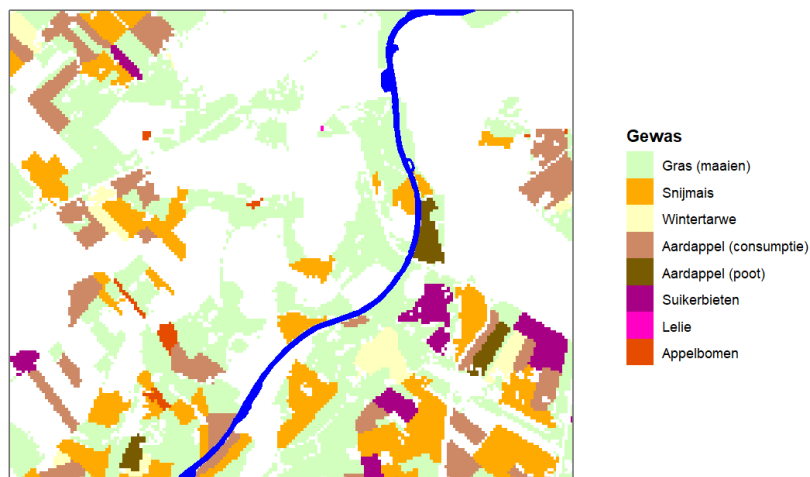


BIJLAGE C

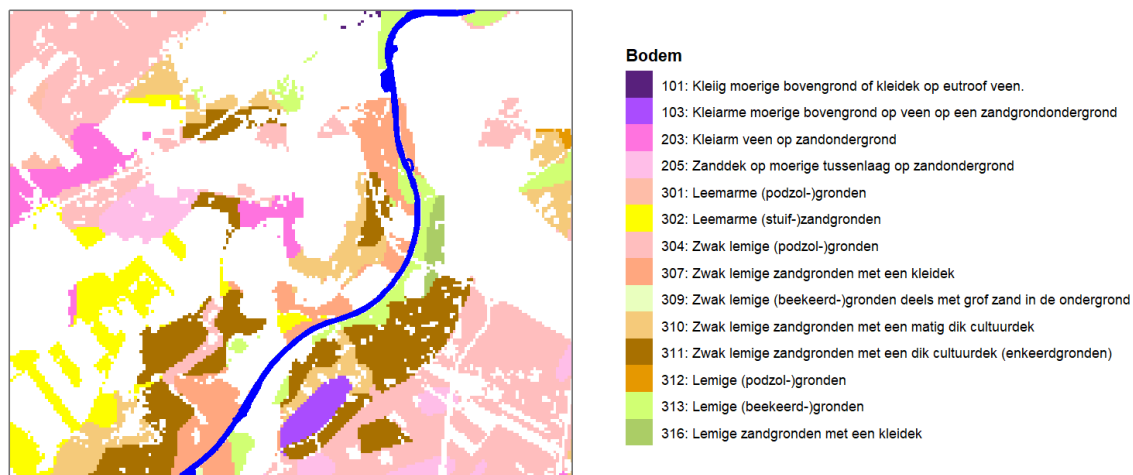
INFORMATIE RHEEZERMATEN

Het gebied Rheezermaten is gelegen in het stroomgebied van de Vecht. Het landgebruik bestaat voornamelijk uit grasland en snijmais (zie Figuur C.1). In het gebied zijn voornamelijk zandgronden aanwezig (zie Figuur C.2). Bij deze toepassing gaan we er vanuit dat er geen berekening plaatsvindt.

FIGUUR C.1 LANDGEBRUIK RHEEZERMATEN

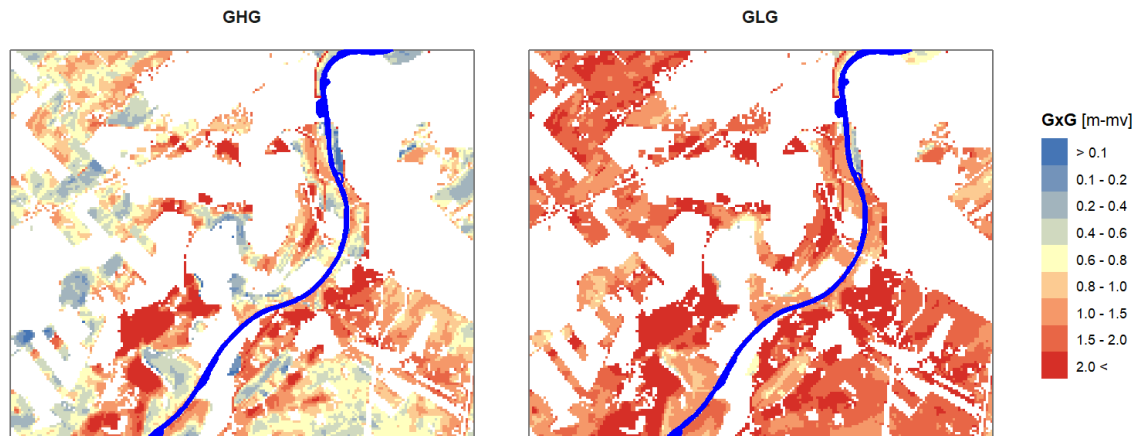


FIGUUR C.2 BODEMTYPE RHEEZERMATEN (SCHEMATISATIE: BOFEK2012)



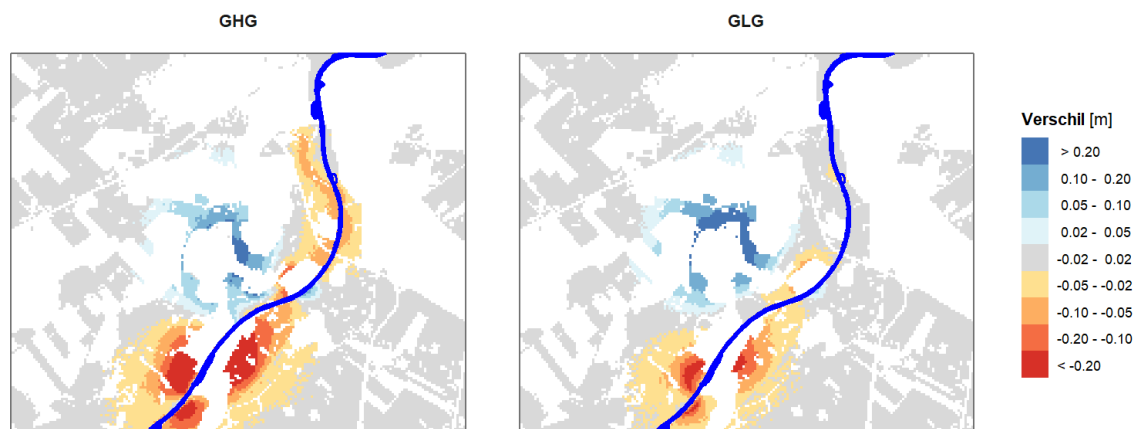
De grondwaterstandskarakteristieken zijn bepaald over de periode 1994 – 2004 berekend met het MIPWA model. Er is sprake van een overwegend droge situatie waarbij de GLG in vrijwel het gehele gebied beneden 1.5 m-mv uitzakt (zie Figuur C.3).

FIGUUR C.3 GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN GHG EN GLG VOOR RHEEZERMATEN BEPAALD OVER DE PERIODE 1994 – 2004 (REFERENTIE)



In het gebied van Rheezermaten zijn meerdere maatregelen gepland, zoals bijvoorbeeld de aanleg van meanders, verondiepen van detailontwatering en aanleg plas/dras locaties. Effecten van deze maatregelen op de grondwaterstandskarakteristieken zijn weergegeven in Figuur C.4.

FIGUUR C.4 EFFECT HYDROLOGISCHE MAATREGEL OP DE GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN GHG EN GLG VOOR RHEEZERMATEN TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIE



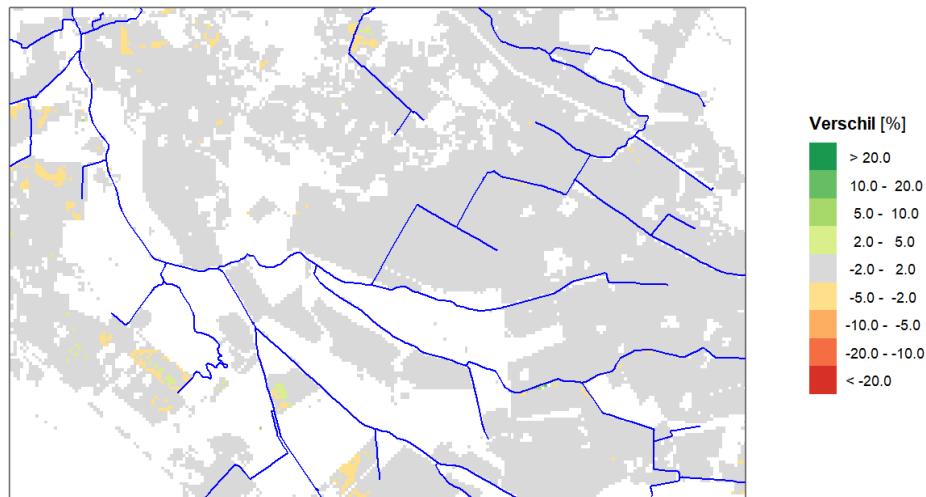
BIJLAGE D

GEVOELIGHEIDSANALYSES

ONDERRANDVOORWAARDE

Bij het toepassen van WWL-regionaal kan er voor gekozen worden om de grondwaterstanden rechtstreeks op te leggen of om de grondwaterstanden als drukhoogte op te leggen. Het verschil in de gesimuleerde opbrengstderving is weergegeven in Figuur D.1 (berekend met een 14-daagse onderrandvoorwaarde). De onderrandvoorwaarde op basis van een drukhoogte laat slecht op enkele plekken een verschil zien in de opbrengstderving hetgeen voornamelijk wordt veroorzaakt door een toename in zuurstofstress.

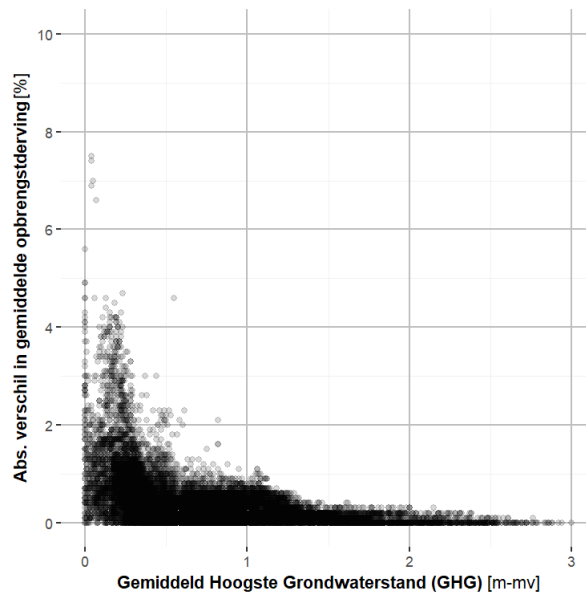
FIGUUR D.1 VERSCHIL IN GEMIDDELTE OPBRENGSTDerving TUSSEN DE 14-DAAGSE RANDVOORWAARDE MET GRONDWATERSTAND EN DE DRUKHOOGTE



De plekken waar deze verschillen zich voordoen betreffen vooral relatief natte omstandigheden. Dit wordt duidelijk wanneer het absolute verschil in opbrengstderving wordt uitgezet tegenover de GHG, zie Figuur D.2.

FIGUUR D.2

ABSOLUUT VERSCHIL IN GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING TUSSEN DE 14 DAAGSE ONDERRANDVOORWAARDE MET GRONDWATERSTAND EN DE DRUKHOOGTE UITGEZET TEGENOVER DE GEMIDDELD HOOGSTE GRONDWATERSTAND

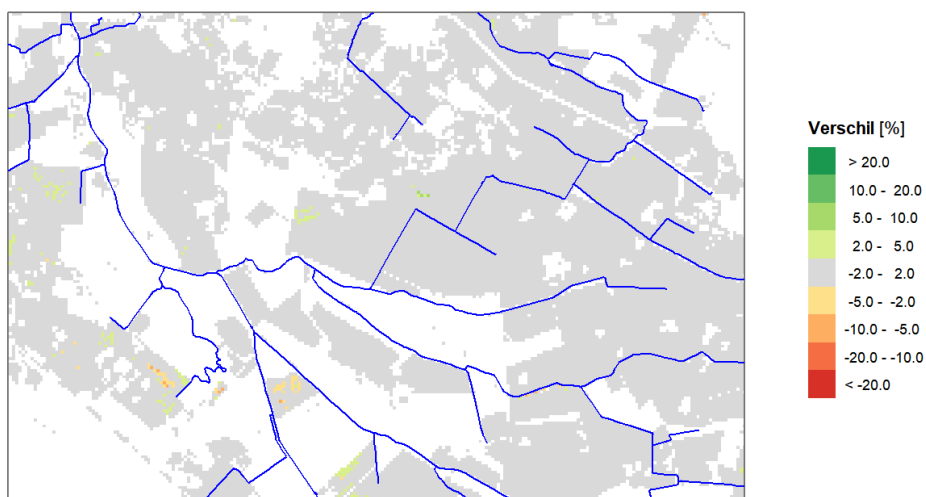


Juist onder deze natte omstandigheden kan een voorgeschreven grondwaterstand in combinatie met de meteorologische omstandigheden (aan de bovenrand) en de bodemfysische eigenschappen resulteren in onrealistische waterfluxen aan de onderzijde van de bodemkolom. Een onderrandvoorwaarde op basis van een drukhoogte wordt daarom aanbevolen.

Omdat we voor deze exercitie beschikken over een dagelijks gesimuleerde grondwaterstand is het mogelijk om de opbrengstderving te berekenen met een onderrandvoorwaarde die dagelijks wordt opgelegd. Op basis van resultaten weergegeven in Figuur D.3 kan geconcludeerd worden dat er nauwelijks verschillen zijn in de gesimuleerde opbrengstderving. Verschillen die zichtbaar zijn betreffen voornamelijk relatief natte plots.

FIGUUR D.3

VERSCHIL IN GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING TUSSEN DE ONDERRANDVOORWAARDE MET DAGELIJKSE DRUKHOOGTE EN EEN 14-DAAGSE DRUKHOOGTE



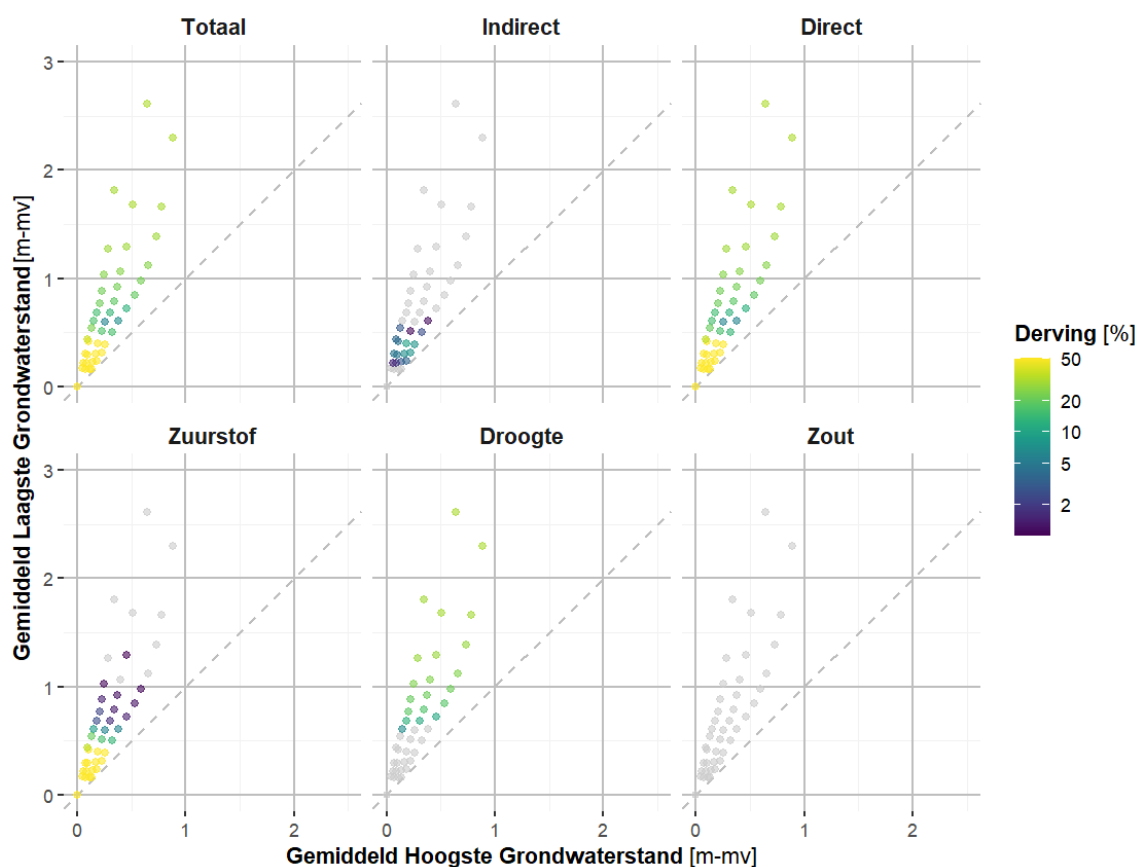
BIJLAGE E

ANALYSE METARELATIE EN SWAP-RESULTATEN

Per plot (combinatie van meteorologische condities, gewas, bodem, irrigatie en zoutconcentratie) worden de WWL-metarelaties afgeleid voor de periode 1981 – 2010 (huidig klimaat). De metarelaties zijn hierbij telkens gebaseerd op circa 50 simulaties verricht met het SWAP-WOFOST modelinstrumentarium met een variatie in hydrologische randvoorwaarden.

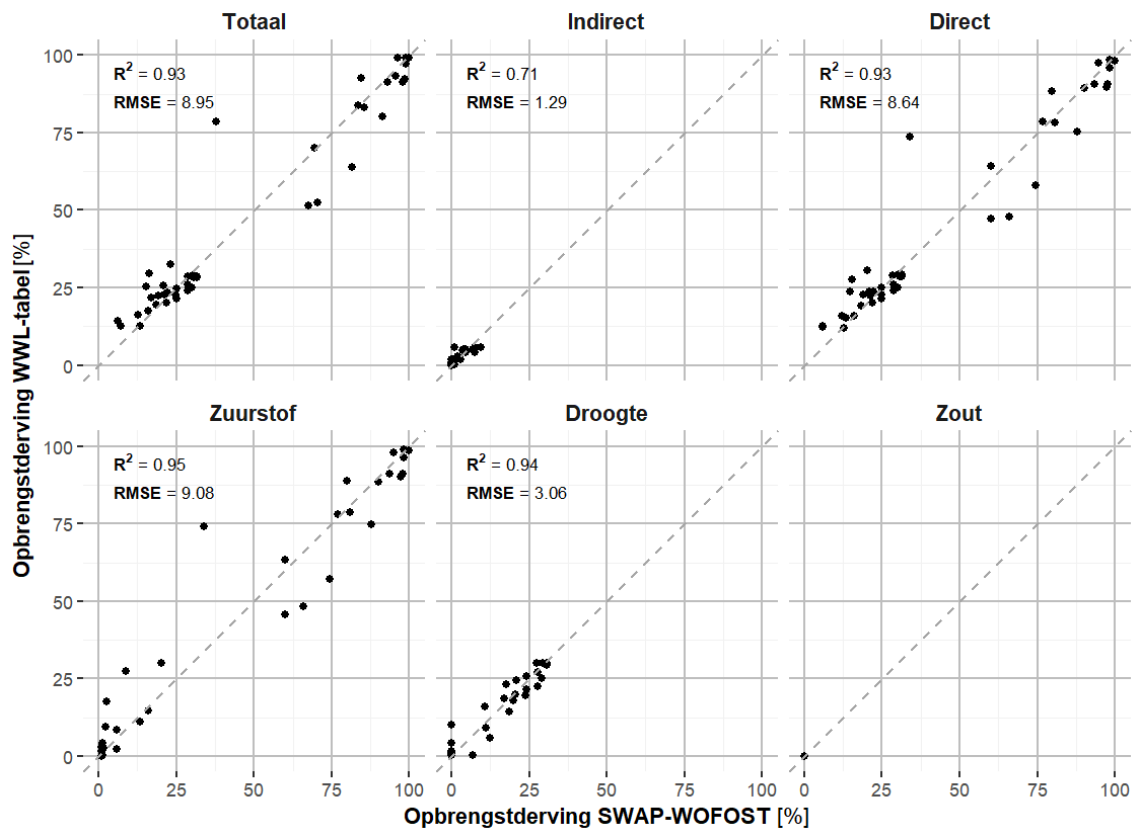
Voor elk weerjaar worden aparte metarelaties afgeleid. In Figuur E.1 zijn resultaten van de gesimuleerde opbrengstderving voor 2003 weergegeven in het GxG-domein voor de ploteigenschappen van Tochtsloot (huidig klimaat, weerstation De Bilt, grasland maaien, zware zavelgrond, geen irrigatie). Hierin is een duidelijk verloop zichtbaar van een afname in zuurstofstress en een toename in droogtestress naarmate het droger wordt.

FIGUUR E.1 GESIMULEERDE OPBRENGSTDerving IN HET GxG-DOMEIN DOOR HET SWAP-WOFOST MODELINSTRUMENTARIUM VOOR 2003



Hoe goed het metamodel deze simulatieresultaten kan nabootsen is weergegeven in Figuur E.2. Voor de meeste schadetermen is de R-kwadraat hoog (> 0.9) met uitzondering van de indirecte effecten. Voor het gewas grasland is dit ook te verwachten omdat de indirecte effecten mede afhangen van het maaimoment. Het maaimoment bij de verschillende SWAP-WOFOST simulaties zal niet op hetzelfde moment plaatsvinden. Dit in combinatie met neerslag maakt het voorspellen van indirecte effecten bij grasland lastig. Overigens is de RMSE relatief klein bij indirecte effecten waardoor de fout die gemaakt wordt niet groot zal zijn.

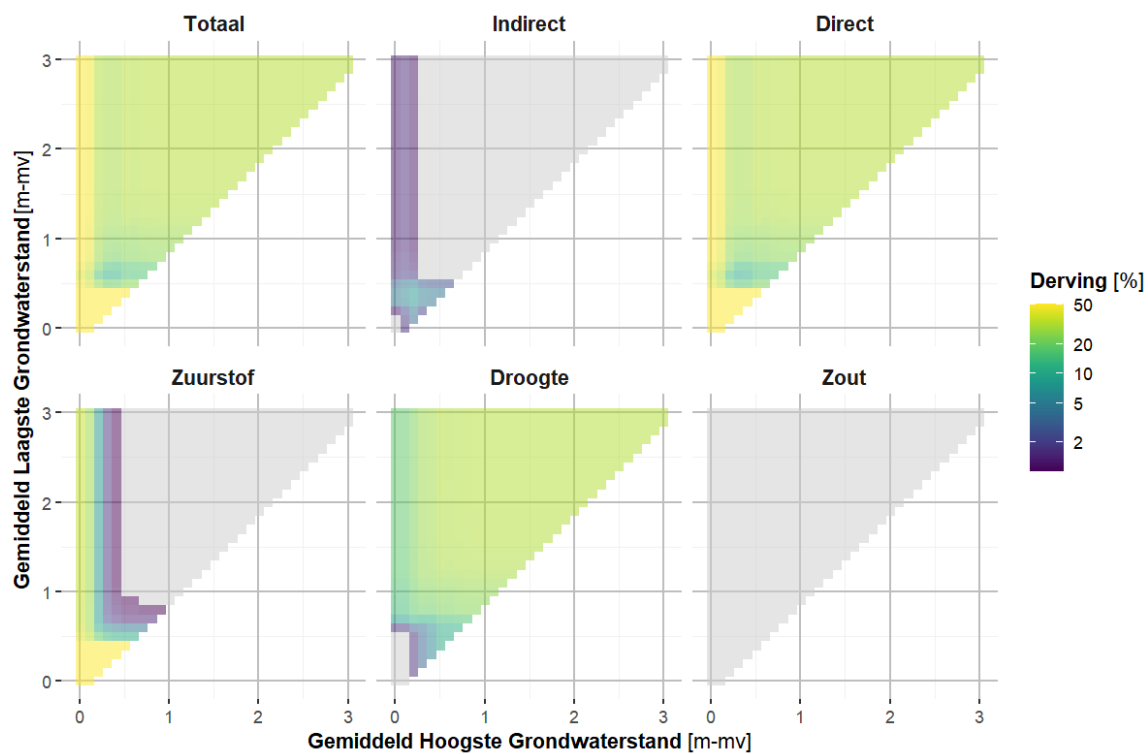
FIGUUR E.2 PRESTATIE WWL-METARELATIES VOOR VERSCHILLENDE SCHADETERMEN VOOR 2003



Nadat de metarelaties zijn afgeleid kan er een voorspelling worden gemaakt van de opbrengstderving (combinatie van verschillende schadetermen) in het GxG-domein, zie Figuur E.3. Hierin valt op dat de metarelaties het aandeel zuurstofstress overschatten bij een relatief natte voorjaarscondities in combinatie met zomercondities waarbij grondwaterstand tot circa 1 m-mv uitzakt.

FIGUUR E.3

OPBRENGSTDERVING IN HET GXG-DOMEIN BEREKEND MET DE WWL-METARELATIES VOOR 2003



BIJLAGE F

RESULTATEN WWL-TABEL VOOR PILOT RHEEZERMATEN

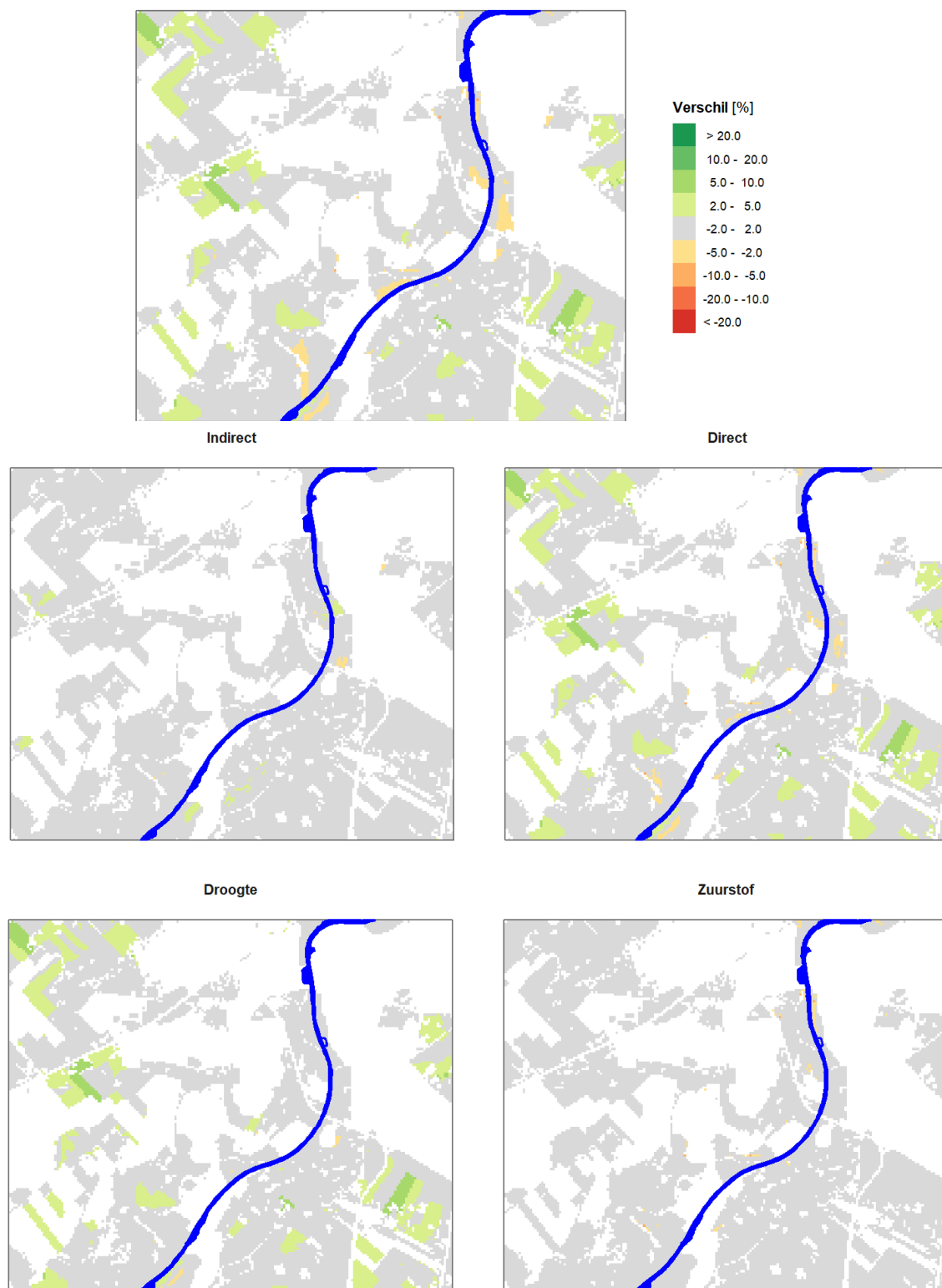
De grondwaterstandskarakteristieken in het pilotgebied Rheezermaten zijn bepaald voor de periode 1996 – 2004. Voor deze periode is het mogelijk om de langjarige gemiddelde opbrengstderving op twee manieren te bepalen. Ten eerste kan met behulp van de WWL-tabel de gemiddelde derving voor de periode 1981-2010 rechtstreeks worden opgevraagd. Hierbij wordt dan aangenomen dat de langjarig gemiddelde derving over de periode 1981 – 2010 vergelijkbaar is met derving over de periode 1996 - 2004. Het is ook mogelijk om de gemiddelde derving te bepalen op basis van individuele jaren.

Op basis van de potentiële opbrengst en de opbrengstderving volgt de absolute derving voor elk jaar. De langjarig gemiddelde derving volgt vervolgens uit de deling van de totale absolute derving door de totale potentiële opbrengst.

In Figuur F1 is het verschil tussen beide benaderingen weergegeven. Op basis van deze vergelijking lijkt de periode 1996 – 2004 iets minder droogtestress op te leveren. Op een enkel perceel kan dit oplopen tot meer dan 5%, maar over het algemeen zijn de verschillen klein.

FIGUUR F.1

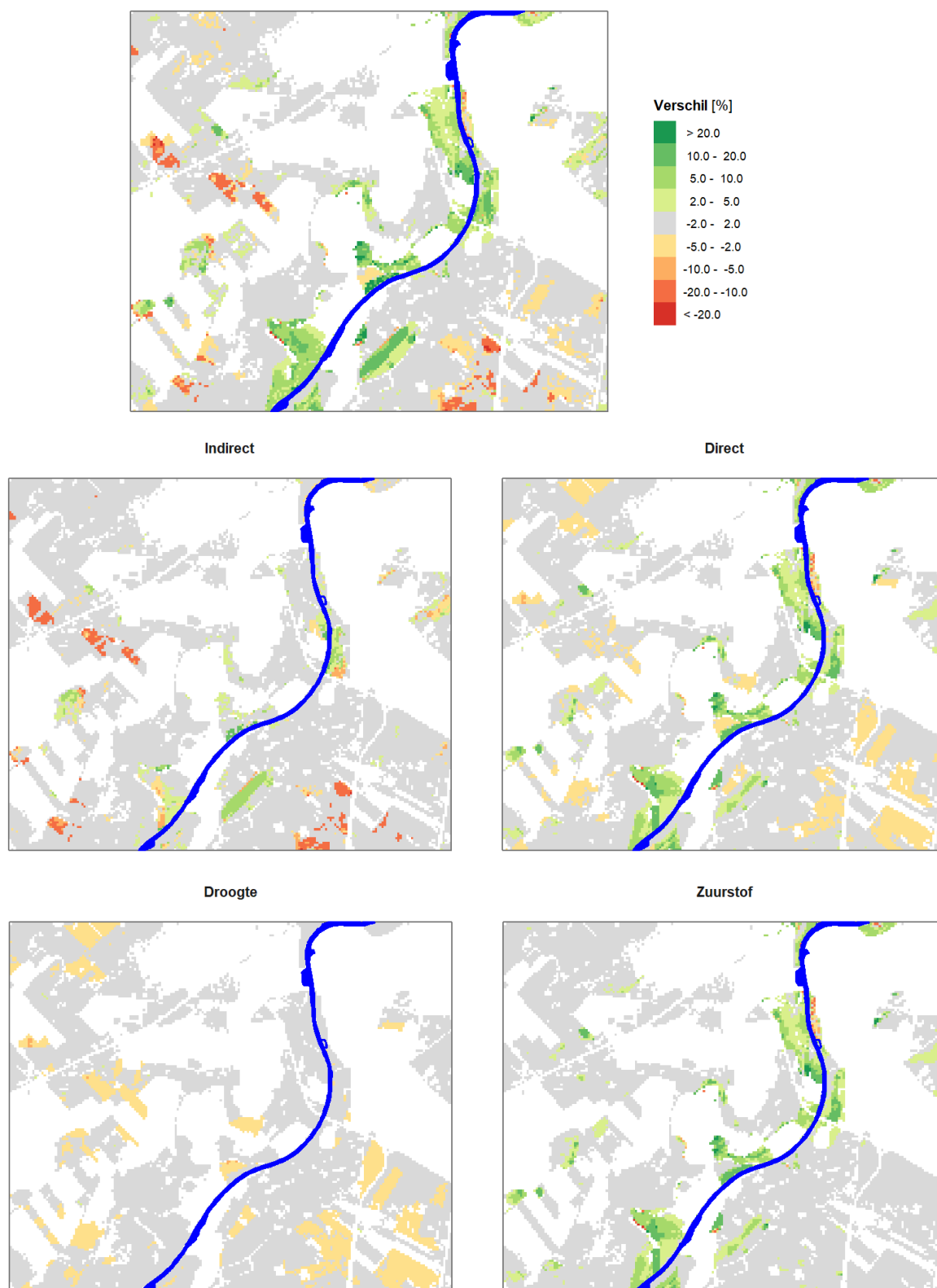
VERSCHIL IN GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING (%) VOOR RHEEZERMATEN BEPAALD OVER DE PERIODE 1981-2010 EN 1996 – 2004 (BOVEN)
 UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER); GROEN GEEFT AAN DAT
 DE DERVING BEPAALD OVER DE PERIODE 1996 – 2004 MINDER IS



BIJLAGE G

**VERSCHIL WWL-TABEL EN WWL-
REGIONAAL VOOR EEN NAT EN DROOG
JAAR VOOR RHEEZERMATEN**

FIGUUR G.1 **VERSCHIL IN OPBRENGSTDERIVING (%) IN 1998 VOOR RHEEZERMATEN BEREKEND MET DE WWL-TABEL EN WWL-REGIONAAL (BOVEN)**
UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER); GROEN GEEFT AAN DAT
WWL-REGIONAAL MINDER STRESS BEREKEND



FIGUUR G.2 **VERSCHIL IN OPBRENGSTDERIVING (%) IN 2003 VOOR RHEEZERMATEN BEREKEND MET DE WWL-TABEL EN WWL-REGIONAAL (BOVEN)**
UITGESPLITST NAAR INDIRECTE EN DIRECTE EFFECTEN (MIDDEN) EN AANDEEL DROOGTE- EN ZUURSTOFSTRESS (ONDER); GROEN GEEFT AAN DAT
WWL-REGIONAAL MINDER STRESS BEREKEND

