

Waterwijzer Landbouw

Update Waterwijzer Landbouw (juni 2020)

Martin Mulder, Pim Dik, Marius Heinen, Dennis Walvoort, Paul van Walsum, Ruud Bartholomeus, Jos van Dam, Mirjam Hack-ten Broeke

Wageningen Environmental Research (WENR), Wageningen Universiteit en KWR

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
1.1	Achtergrond	3
1.2	Ontwikkeling Waterwijzer Landbouw	3
1.3	Producten Waterwijzer Landbouw	4
1.4	Leeswijzer	5
2	Update WWL-metarelaties 2.0.0	6
2.1	Bodem	6
2.1.1	Bodemfysische eigenschappen	6
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
3	Resultaten WWL-metarelaties.....	11
3.1	Toetsing verloop grondwaterstanden	11
3.2	Resultaten onder relatief droge en natte omstandigheden	14
4	Toepassing WWL-tabel	17
	Literatuur	22
A.	Vergelijking DINOloket	24
B.	Resultaten WWL-metarelaties versie 1.0.0	27
C.	Informatie Rheezermaten	29

1 Inleiding

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 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.

In juni 2020 brengen we een verbeterde versie uit onder de titel Waterwijzer Landbouw versie 2.0.0.

1.2 Ontwikkeling 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; Dam et al., 2008; Kroes et al., 2017) en WOFOST (World Food Studies; Boogaard et al., 2011) waarin de wisselwerking tussen bodem, water, atmosfeer en gewasgroei is beschreven.

Met dit gedetailleerde modelinstrumentarium zijn 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 zogenaamde metarelaties. Het projectresultaat van Waterwijzer Landbouw bestaat hiermee twee hoofdonderdelen:

- Modelinstrumentarium: voor het uitvoeren van gedetailleerde berekeningen van gewasontwikkeling onder te droge, te natte en/of te zoute omstandigheden.
- WWL-metarelaties: op basis van plotkenmerken als gewas, bodem en meteorologie in combinatie met grondwaterstandskarakteristieken kunnen de gewasopbrengsten per weerjaar worden bepaald.

Het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST is getoetst aan praktijkgegevens (Hack-ten Broeke et al., 2013; Kotters et al., 2017). Daarnaast zijn een aantal 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. Na de oplevering van de eerste versies van de WWL-metarelaties (versie 1.0.0 en 1.1.0) zijn verschillende problemen geconstateerd:

- 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
- Gehanteerde beregeningscriterium leidt tot te weinig beregening.

Nader onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat het probleem zit bij de invoergegevens voor het modelinstrumentarium. Door de aansturing van het modelinstrumentarium anders in te richten zijn een deel van de bovenstaande problemen in versie 2.0.0 nu 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 doorlaatvermogen 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; Wösten et al., 2001). Nadere verkenningen hebben duidelijk gemaakt dat wanneer we 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 lijken daarmee verholpen te zijn. Voor bodemeenheden met (zeer) zware klei in het bodemprofiel is de modelmatige beschrijving van de bodemkarakteristieken met de huidige kennis en inzichten eigenlijk niet adequaat. Nader onderzoek moet nog uitwijzen of een ander modelconcept zoals Peter-Durner-Iden (Peters, 2013; Peters, 2014; Iden et al., 2014) in plaats van Mualem – Van Genuchten (Genuchten et al., 1997) leidt tot betere resultaten.

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 de problemen die worden ondervonden terug te herleiden zijn naar de bron (hetzij invoergegevens, hetzij de procesbeschrijving). 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 beperkt zich niet alleen tot Waterwijzer Landbouw maar heeft betrekking veel op andere modeltoepassingen waarbij onder meer gedacht kan worden aan het NHI en afgeleiden daarvan.

1.3 Producten Waterwijzer Landbouw

De Waterwijzer Landbouw bestaat uit verschillende methodieken, die verschillen in gemak om het toe te passen maar natuurlijk ook in het detail en onderscheidingsvermogen van de resultaten.

De WWL-metarelaties van Waterwijzer Landbouw kunnen relatief eenvoudig worden benaderd met de [WWL-tabel](#)¹. Hiermee is het mogelijk om relatief snel inzicht te krijgen hoe de opbrengstderving gedurende de klimaatperiodes 1981-2010 en 2036-2065 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](#)¹. Voor een specifieke situatie kan het modelinstrumentarium (SWAP-WOFOST) opnieuw worden gedraaid. Door modelinstellingen aan te passen is het mogelijk om beter aan te sluiten op de lokale omstandigheden. Zo kan er gebruik worden gemaakt van lokale meteorologische gegevens, bodemfysica en het grondwaterstandsverloop en kan het modelinstrumentarium worden gedraaid voor een recentere periode.

Maatwerk op het niveau van stroomgebieden is recent getoetst in een aantal pilotstudies. Het is de bedoeling dat ook deze toepassing binnenkort beschikbaar komt via de website voor alle gebruikers.

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

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

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de wijzigingen die hebben plaatsgevonden bij het afleiden van de nieuwe WWL-metarelaties. In hoofdstuk 3 wordt het verloop van de gesimuleerde grondwaterstanden vergeleken met metingen en wordt een doorzicht gegeven in de resultaten onder relatief natte en droge omstandigheden. Tenslotte wordt in hoofdstuk 4 de WWL-tabel toegepast in het pilotgebied Rheezermaten en wordt er een vergelijking gemaakt tussen resultaten verkregen met de oude en nieuwe WWL-metarelaties.

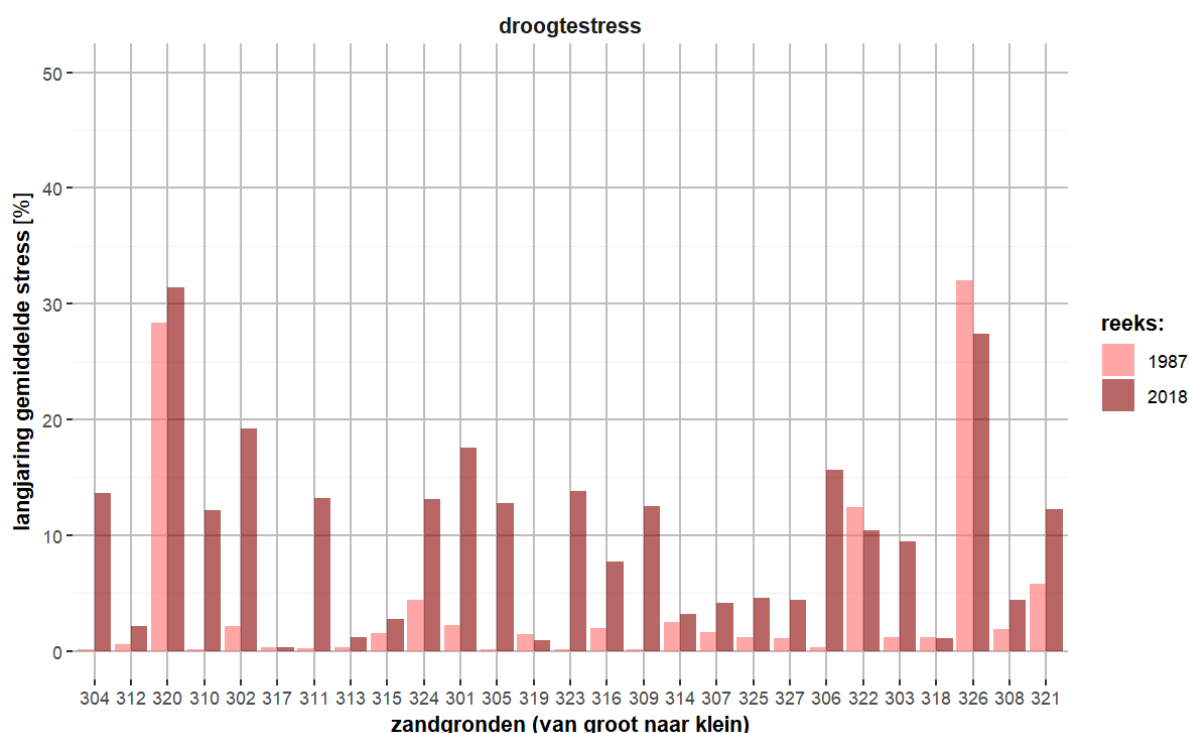
2 Update WWL-metarelaties 2.0.0

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 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 [BOFEK](#))

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 tot Gt VII). Elke simulatie is opnieuw doorgerekend 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](#)² schaal 1:50.000 zijn 370 zogenoemde bodemkundige profielschetsen 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,

² <https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/modellen/bodemkaart-nederland>

akkerbouw, natuur of bos). De [Bodemfysische Eenhedenkaart \(BOFEK\)](#) (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 BOFEK-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 BOFEK-eenheden met meerdere profielen is gerekend. Als er binnen de betreffende BOFEK-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 BOFEK-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 BOFEK-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 BOFEK uit 2012. In 2020 zal in het kader van het investeringsplan voor het NHI een nieuwe geactualiseerde BOFEK worden afgeleid op basis van zowel de nieuwe Staringreeks als de geactualiseerde bodemkaart. In de toekomst zal ook Waterwijzer Landbouw van die verbeterde BOFEK gebruik gaan maken. Voor de metarelaties 2.0.0 is dat dus nog niet het geval.

2.2 Randvoorwaarden

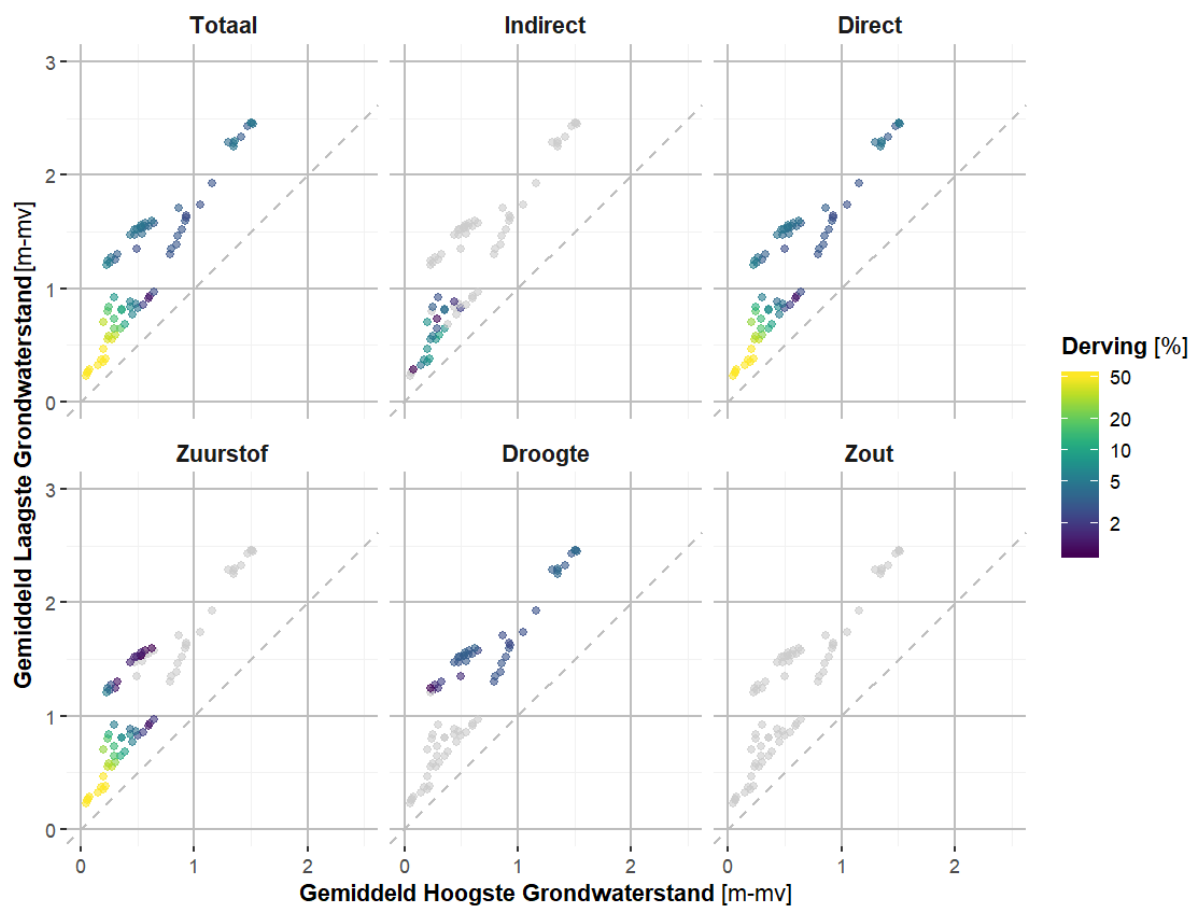
Bij het afleiden van de eerste WWL-metarelaties (versie 1.0.0 en 1.1.0) is gebruik gemaakt van de onderrand waarbij de verticale waterflux aan de onderzijde van de bodemkolom afhankelijk is van het grondwaterstand (de zogenaamde $Q(h)$ relatie). Hierbij treden geen drainage- en infiltratiefluxen over de zij-rand op, maar zijn deze verwerkt in de onderrandflux. Aan de hand van deze aansturing is het mogelijk om realisaties te verkrijgen 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 exponentiele relaties waarbij de drainageweerstand afneemt als de grondwaterstand stijgt. Dit leidt tot een afgetopt grondwaterstandsverloop.

Bij het afleiden van de nieuwe WWL-metarelaties is daarom gekozen om de randvoorwaarden op een andere manier aan te sturen. Hierbij is gekeken naar ervaringen uit studies als [STONE](#)³, hydrologie op basis van karteerbare kenmerken (van der Gaast et al., 2007) en het [NHI](#)⁴. Het SWAP-WOFOST modelinstrumentarium wordt hierbij telkens mede aangestuurd met zogenoemde drainagemiddelen voor de bepaling van de onderrandvoorwaarde.

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.

³ <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/Faciliteiten-Producten/Software-en-modellen/STONE/Over-STONE.htm>

⁴ <http://nhi.nu/>

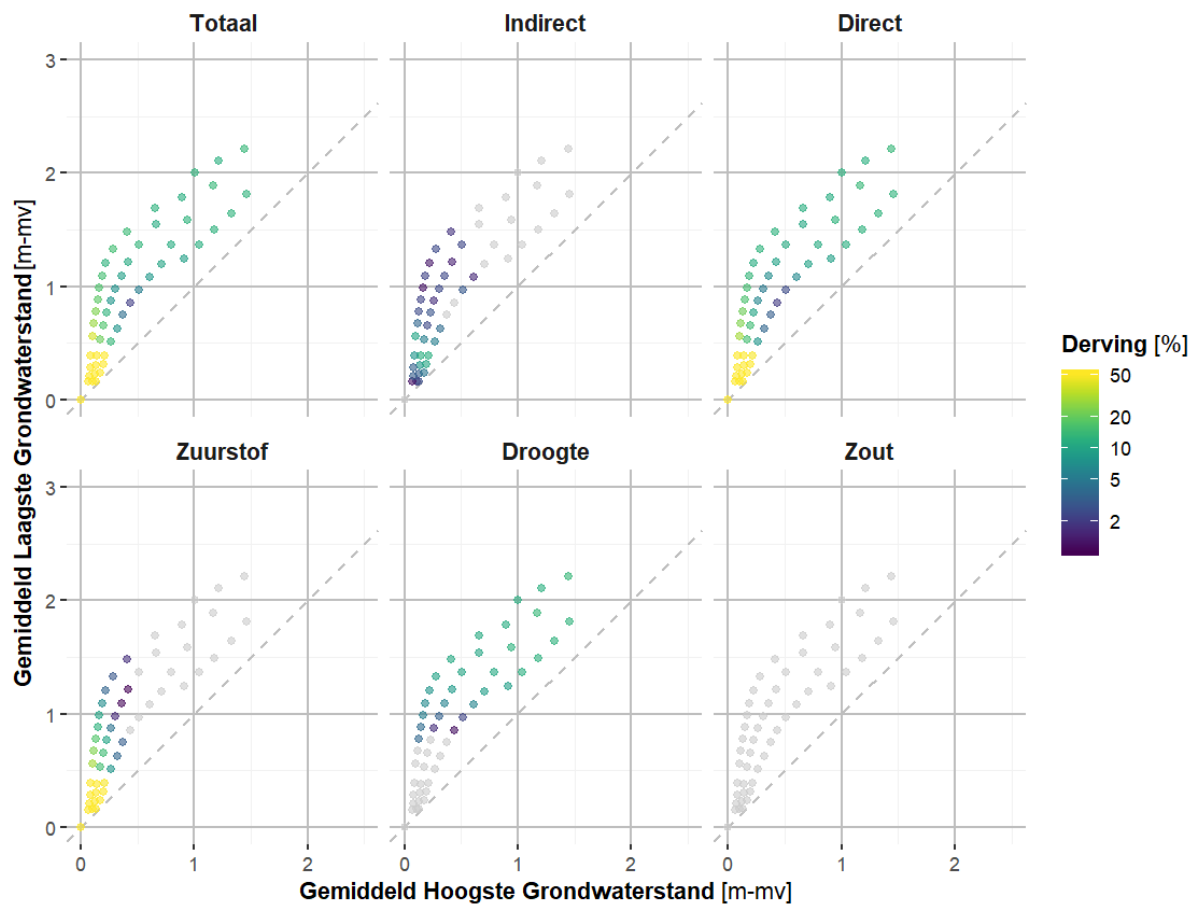


Figuur 2-2: Realisaties van SWAP-WOFOST op basis van STONE instellingen in het GHG-GLG domein; mate van opbrengstderving wordt met kleur aangegeven

In de figuur zijn 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. Make 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 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.



Figuur 2-3: Realisaties van SWAP-WOFOST met een geleidelijk verloop in randvoorwaarden in het GHG-GLG domein; mate van opbrengstderving 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% opbrengstderving.

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 berekeningscriteria herzien moesten worden. Het aansturen middels 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.

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

Om het aantal simulaties die nodig zijn voor het afleiden van nieuwe WWL-metarelaties enigszins te beperken en zo snel mogelijk een verbeterde versie ter beschikking te kunnen stellen in juni 2020, is ervoor gekozen om het aantal gewassen te beperken (zie Tabel 2-1). Er worden daarom dus vooralsnog geen nieuwe WWL-metarelaties afgeleid voor zomergerst, pootaardappelen, groenteteelt en lilies.

Tabel 2-1: Beperkte gewassenlijst (versie 2.0.0)

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

Voor de meeste regionale studies voldoet deze selectie aan gewassen. Alle landbouwkundige landgebruiksvormen van het LGN7 en het LHM (Landelijk Hydrologisch Model) kunnen worden vertaald naar één deze Waterwijzer Landbouw gewassen. Daarnaast zijn voor grasland twee uiterste vormen van beheer in acht genomen, namelijk intensief maaïen en volledige beweiding. Voor maatwerk toepassingen blijven alle gewassen gewoon beschikbaar.

3 Resultaten WWL-metarelaties

3.1 Toetsing verloop grondwaterstanden

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](#)⁵. Voor de selectie aan peilbuizen is gebruik gemaakt van ervaringen uit voorgaande studies (Van Bracht, 1988; Hoogland et al., 2014). Hierbij is onder andere gelet op de locatie van de peilbuis en de filterstelling, zo mag een peilbuis niet te dicht bij een watergang liggen bijvoorbeeld en moet het freatische grondwaterstand zijn gemeten.

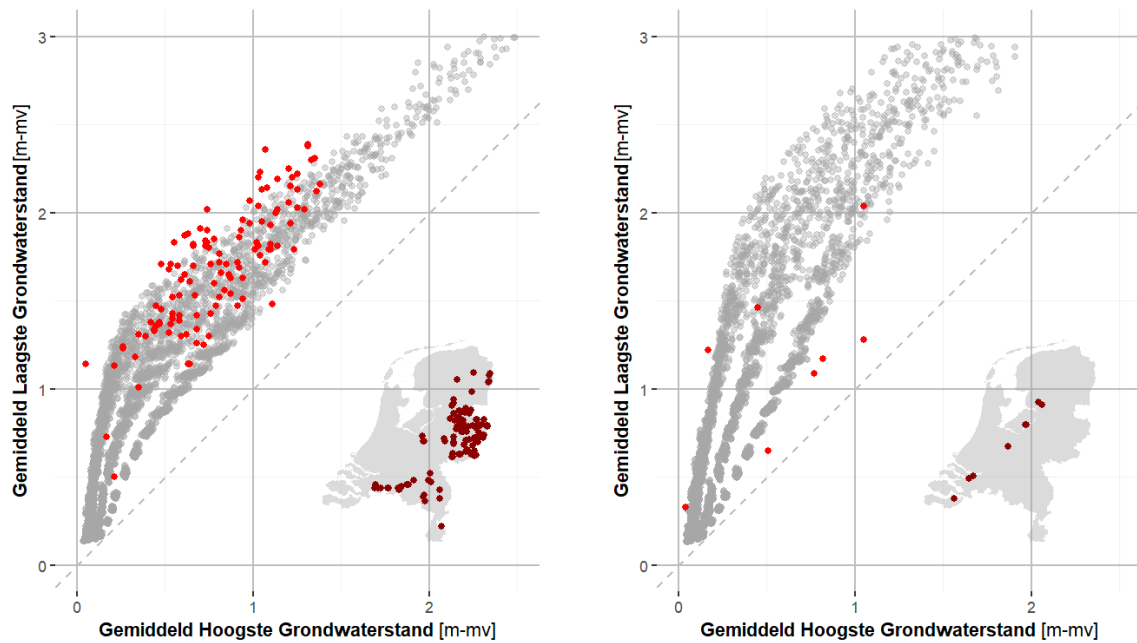
Voor deze set aan peilbuizen zijn alle grondwaterstandsmetingen opgevraagd bij het DINOloket voor de periode 1981-2010. Voor het gebruik van de grondwaterstandsmetingen zijn nog wel een aantal eisen gesteld:

- Alleen peilbuizen met een landbouwkundig bodemgebruik.
- Grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG moeten zijn af te leiden.
- Geen uitschieters in de meetreeks.

Het afleiden van de grondwaterstandskarakteristieken moet tenminste een periode beslaan van 8 jaar. Hierbij wordt een range aangehouden van 5 dagen ten opzichte van de 14^e en 28^e dag van de maand en een bedekkingsgraad van 90%.

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 3-1 geeft hier een voorbeeld van, waarbij voor de meest voorkomende zandgrond (BOFEK 304) en kleigrond (BOFEK 418) de gemeten en gesimuleerde grondwaterstandskarakteristieken zijn weergegeven. In bijlage A is dit ook weergegeven per grondsoort.

⁵ <https://www.dinoloket.nl/>

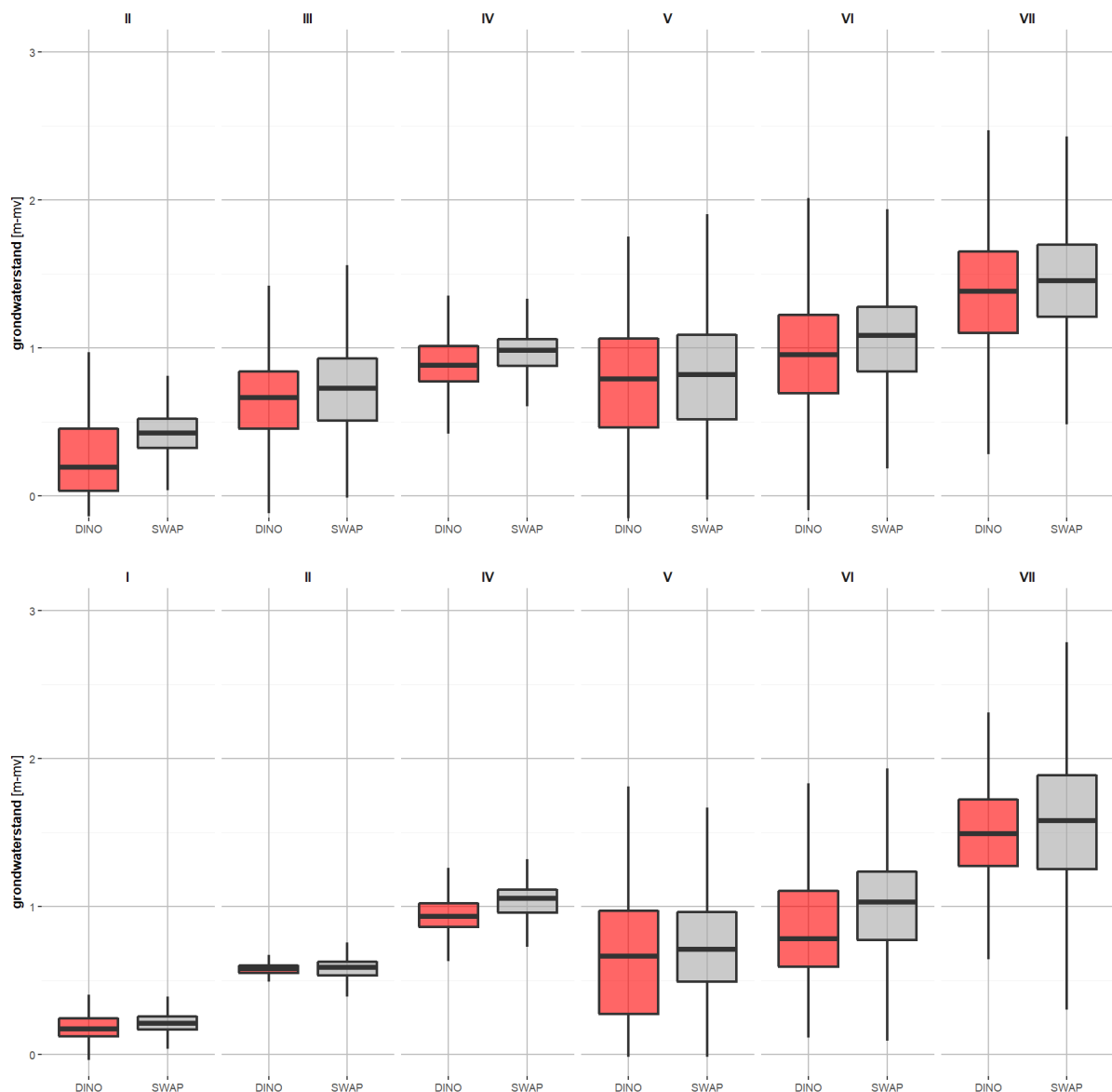


Figuur 3-1: Bereik van DINO peilbuisgegevens (rood) en SWAP-WOFOST simulaties (grijs) in het GHG-GLG domein; links voor alle peilbuizen op zwak lemige (podzol-)gronden (BOFEK 304) en rechts voor alle peilbuizen op zware zavel homogeen profiel (BOFEK 418)

Hierin is te zien dat het bereik van de gemeten en gesimuleerde grondwaterstandskarakteristieken redelijk met elkaar overeenkomen. 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 één of meerdere simulaties.

De koppeling is hierbij gebaseerd op de grondwaterstandskarakteristieken (koppeling tussen de rode en grijze punten van Figuur 3-1). 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 3-2, in bijlage A is dit ook weergegeven per grondsoort.



Figuur 3-2: Vergelijking van dynamiek onder verschillende hydrologische omstandigheden (Gt-klasse); 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 (BOFEK 304) en onder voor alle peilbuizen op zware zavel homogeen profiel (BOFEK 418)

De spreiding in de gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden zijn weergegeven in zogenaamde boxplots per Gt-klasse, zie Figuur 3-2. 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.

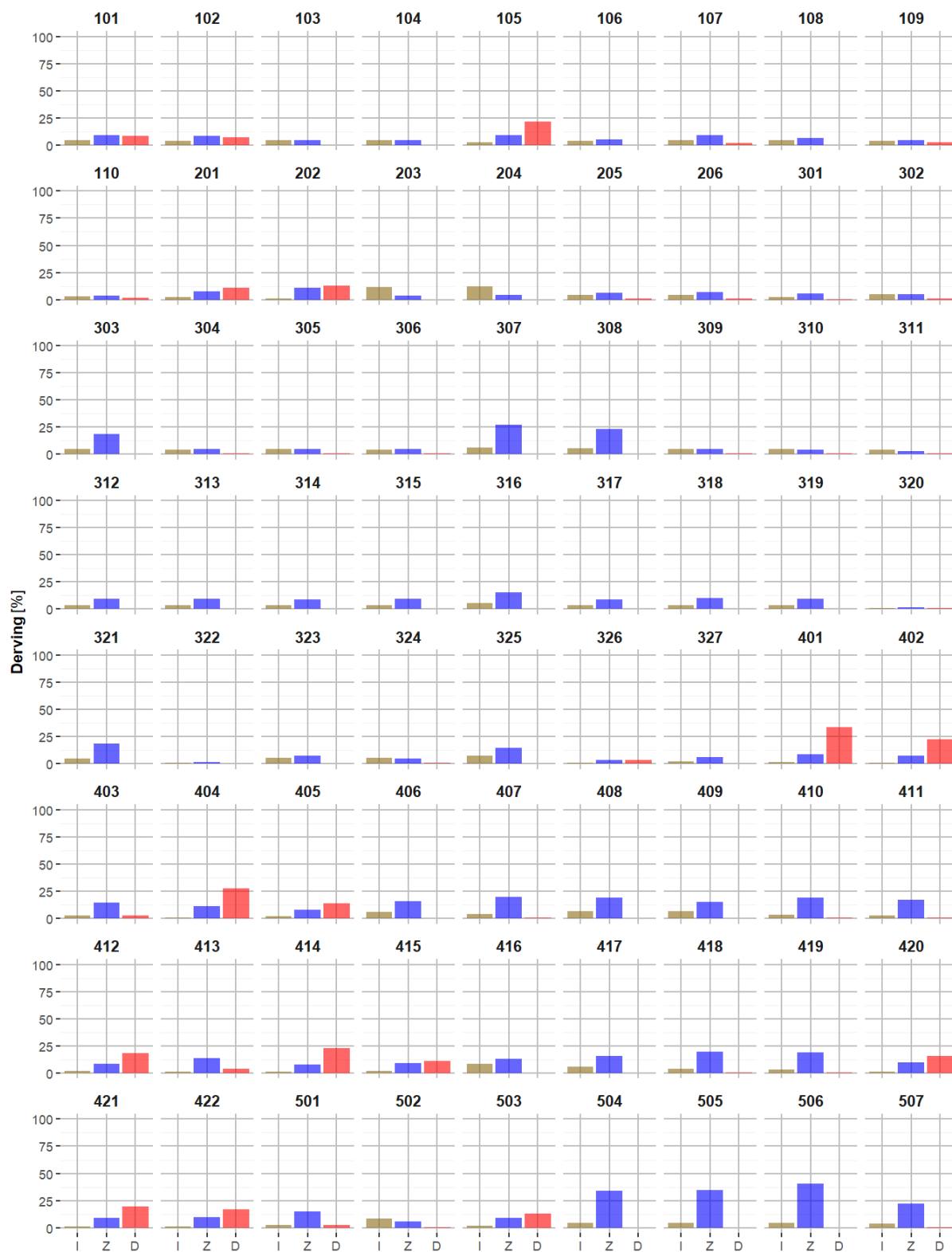
3.2 Resultaten onder relatief droge en natte omstandigheden

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 3-3). 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 3-4). In bijlage B zijn de resultaten weergegeven die zijn verkregen met de WWL-metarelaties 1.0.0.

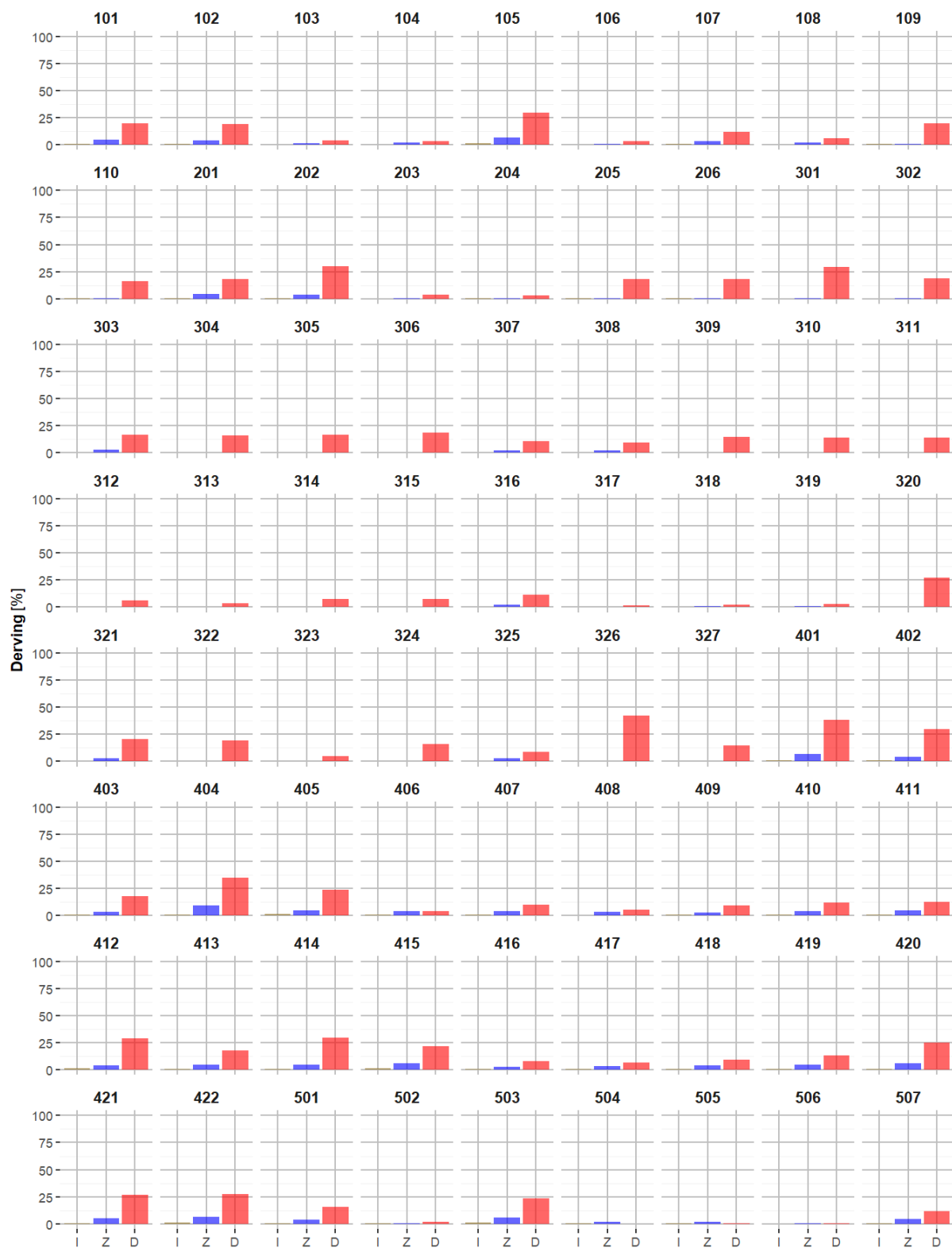
Op basis van deze resultaten moeten we helaas concluderen dat de nieuwe berekeningen geen verbetering opleveren voor situaties met teveel droogtestress onder natte omstandigheden. Dat was op zichzelf ook niet te verwachten omdat dit probleem, dat specifiek voorkomt bij kleigronden, wordt veroorzaakt door de niet adequate beschrijving van de bodemfysische eigenschappen voor deze gronden (met behulp van Mualem -Van Genuchten). Dat het probleem nu optreedt bij meer kleigronden ten opzichte van de WWL-metarelaties 1.0.0 moet 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 maken we deze juni 2020 versie beschikbaar voor alle WWL-gebruikers.



Figuur 3-3: Langjarig gemiddelde opbrengstderving onder natte omstandigheden (GHG: 0.3 m-mv; GLG: 0.6 m-mv) uitgesplitst per BOFEK-eenheid op basis van WWL-metarelaties versie 2.0.0 [%]



Figuur 3-4: Langjarig gemiddelde opbrengstderving onder droge omstandigheden (GHG: 1.5 m-mv; GLG: 2.0 m-mv) uitgesplitst per BOFEK-eenheid op basis van WWL-metarelaties versie 2.0.0 [%]

4 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 4-1. 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.

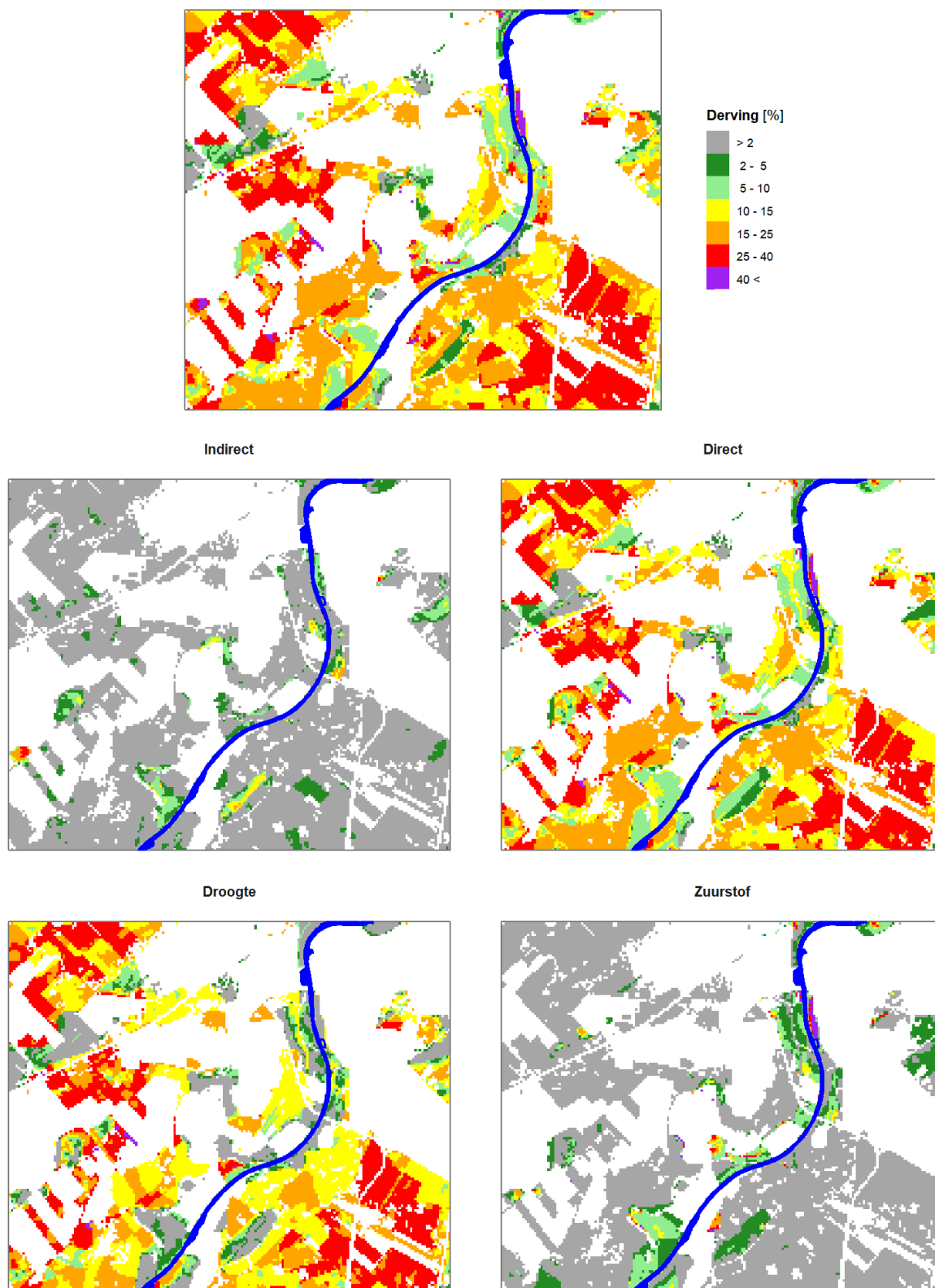
Het verschil ten opzichte van de vorige versie van de WWL-metarelaties (versie 1.0.0) is dat er een aanzienlijke toename te zien is in de gesimuleerde droogtestress van circa 10%, zie Tabel 4-1. Dit is vrijwel geheel te wijten aan de verandering van de bodemfysische eigenschappen zoals beschreven in sectie 2.1.

Tabel 4-1: Langjarig gemiddelde opbrengstderving voor Rheezermaten berekend op basis van WWL-metarelaties 1.0.0 en 2.0.0 [%]

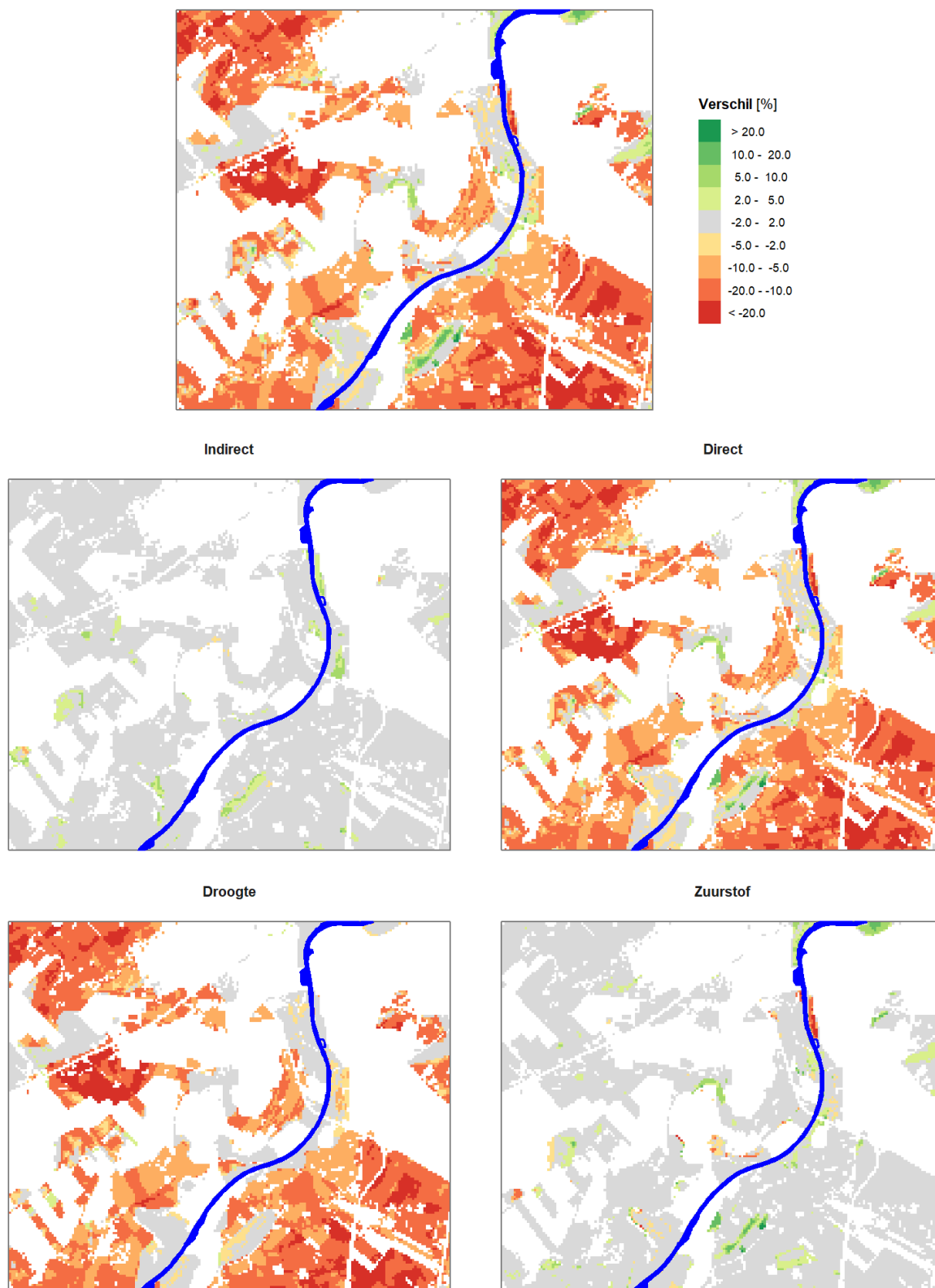
Opbrengstderving	1.0.0	2.0.0
totaal	8.5	18.1
- indirecte effecten	1.0	0.9
- directe effecten	7.5	17.2
- droogtestress	5.5	15.4
- zuurstofstress	2.0	1.8

De gesimuleerde zuurstofstress verandert gemiddeld niet zoveel. Lokaal kan de zuurstofstress zowel toenemen als afnemen ten opzichte van de voorgaande versie van de WWL-metarelaties, zie Figuur 4-2.

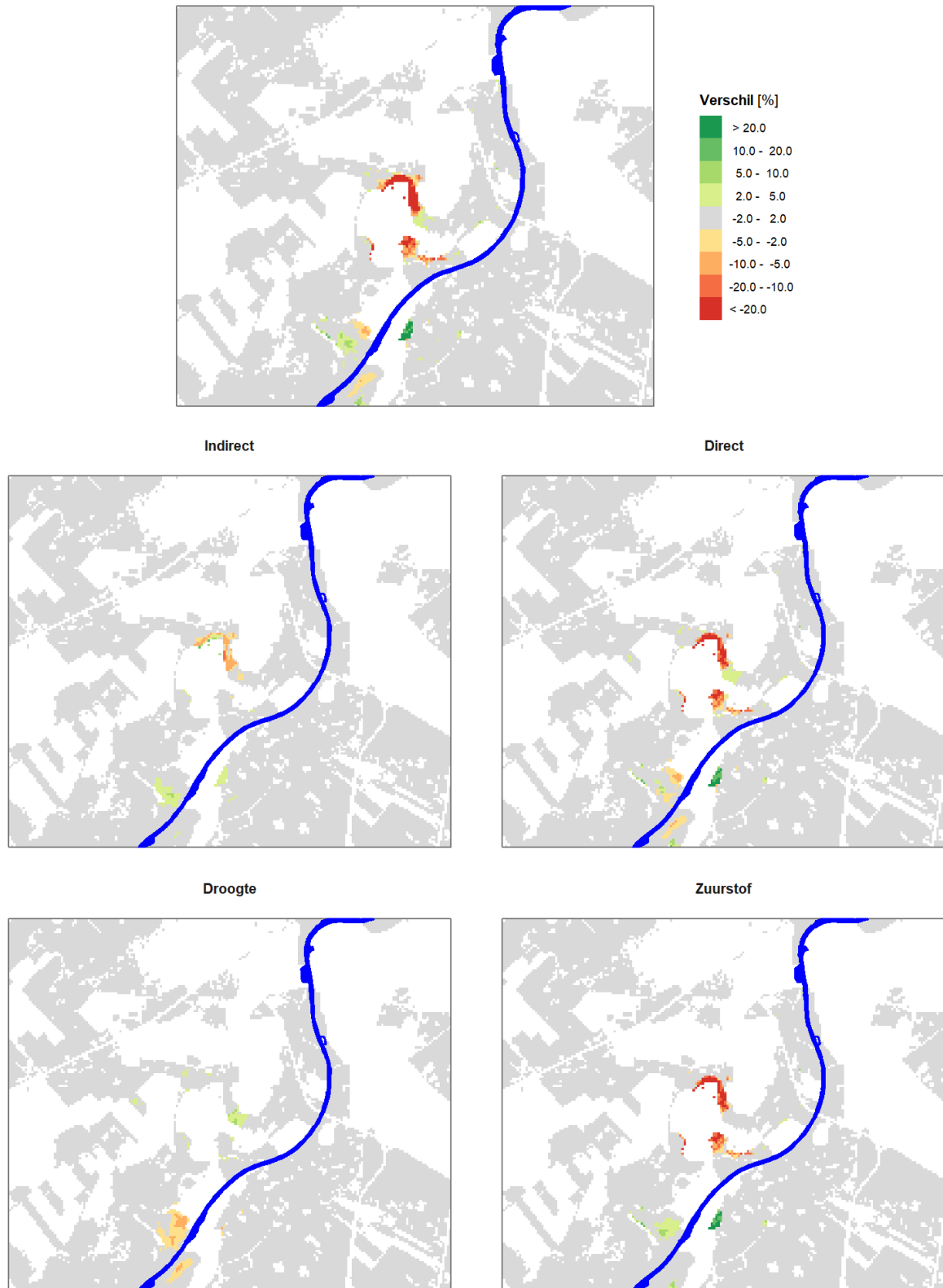
In het gebied van Rheezermaten zijn verschillende hydrologische maatregelen gepland (zie bijlage C). Globaal leiden de hydrologische maatregelen in het midden van het gebied tot nattere omstandigheden en in het zuiden van het gebied tot drogere omstandigheden. De verandering in de langjarig gemiddelde derving als gevolg van de hydrologische maatregelen zijn ruimtelijk weergegeven in Figuur 4-3. 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 in mindere mate zichtbaar. Verklaring hiervoor kan zijn dat de referentiesituatie dermate droog is dat het niet uitmaakt of het nog droger wordt.



Figuur 4-1: 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 [%]



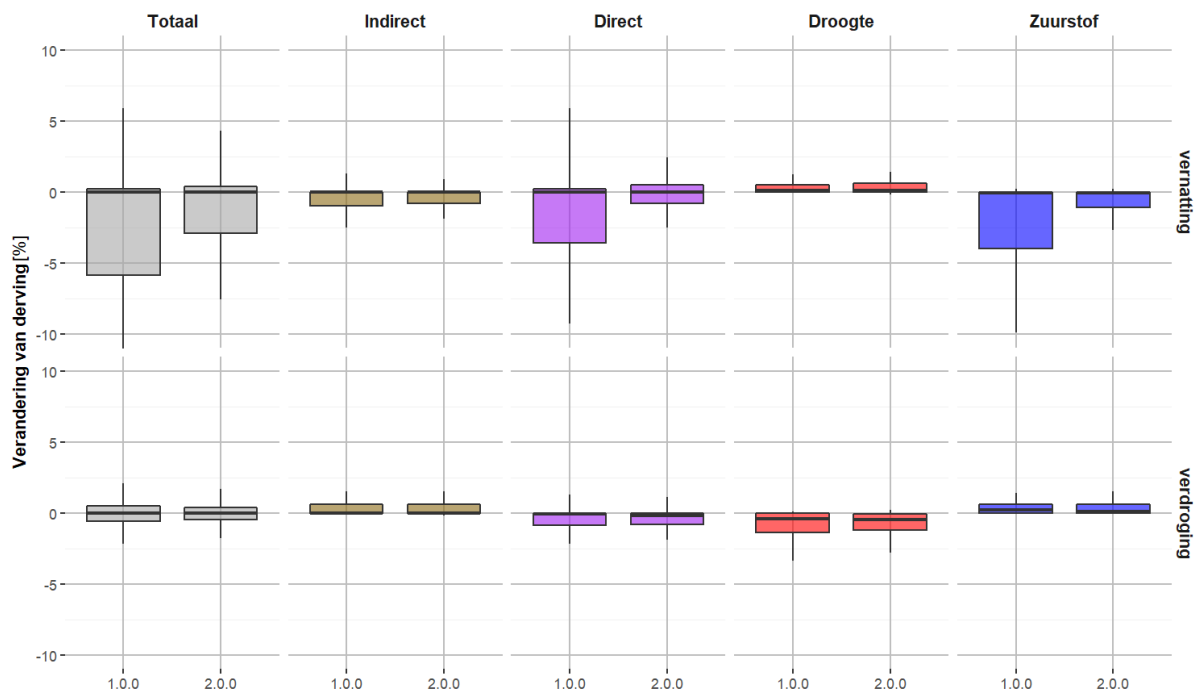
Figuur 4-2: Verschil in de gemiddelde opbrengstderving voor Rheezermaten over de periode 1994-2004 (boven) uitgesplitst naar indirecte en directe effecten (midden) en aandeel droogte- en zuurstofstress (onder) ten opzichte van WWL-metarelaties 1.0.0 [%]



Figuur 4-3: Verandering van de gemiddelde opbrengstderving 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 4-4. Voor deze vergelijking maken we onderscheid tussen het gebied waar de GHG met meer dan 5 cm stijgt (vernatting) 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 3.2 mag je dat ook verwachten: onder relatief natte omstandigheden wordt er minder extreme zuurstofstress berekend met WWL-metarelaties 2.0.0. Verder zien we in beide versies van Waterwijzer Landbouw een zogenaamde 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 de vernattings- als de verdrogingsmaatregel. 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 4-4: Verdeling van de relatieve verandering in de langjarig gemiddelde opbrengstderving als gevolg van hydrologische maatregelen (uitgesplitst naar vernattings- en verdrogingsmaatregelen) voor Rheezermaten over de periode 1994-2004 berekend met WWL-metarelaties 1.0.0 en 2.0.0 [%]

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.

Gaast, J. W. J. van der, 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 grondwatertrappenkaart van holoceen Nederland; Resultaten van het veldonderzoek*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2612. 69 blz.; 21 fig.; 21 tab.; 15 ref.

Iden, S., and W. Durner, 2014. *Comment to "Simple consistent models for water retention and hydraulic conductivity in the complete moisture range" by A. Peters*. Water Resources Research 50: 7530–7534.

Jarvis, N.J. 2011. *Simple physics-based models of compensatory plant water uptake: concepts and eco 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.

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).

Peters, A, 2013. *Simple consistent models for water retention and hydraulic conductivity in the complete moisture range*. Water Resources Research 49: 6765–6780.

Peters, A, 2014. *Reply to comment by S. Iden and W. Durner on Simple consistent models for water retention and hydraulic conductivity in the complete moisture range*. Water Resources Research 50: 7535–7539.

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.

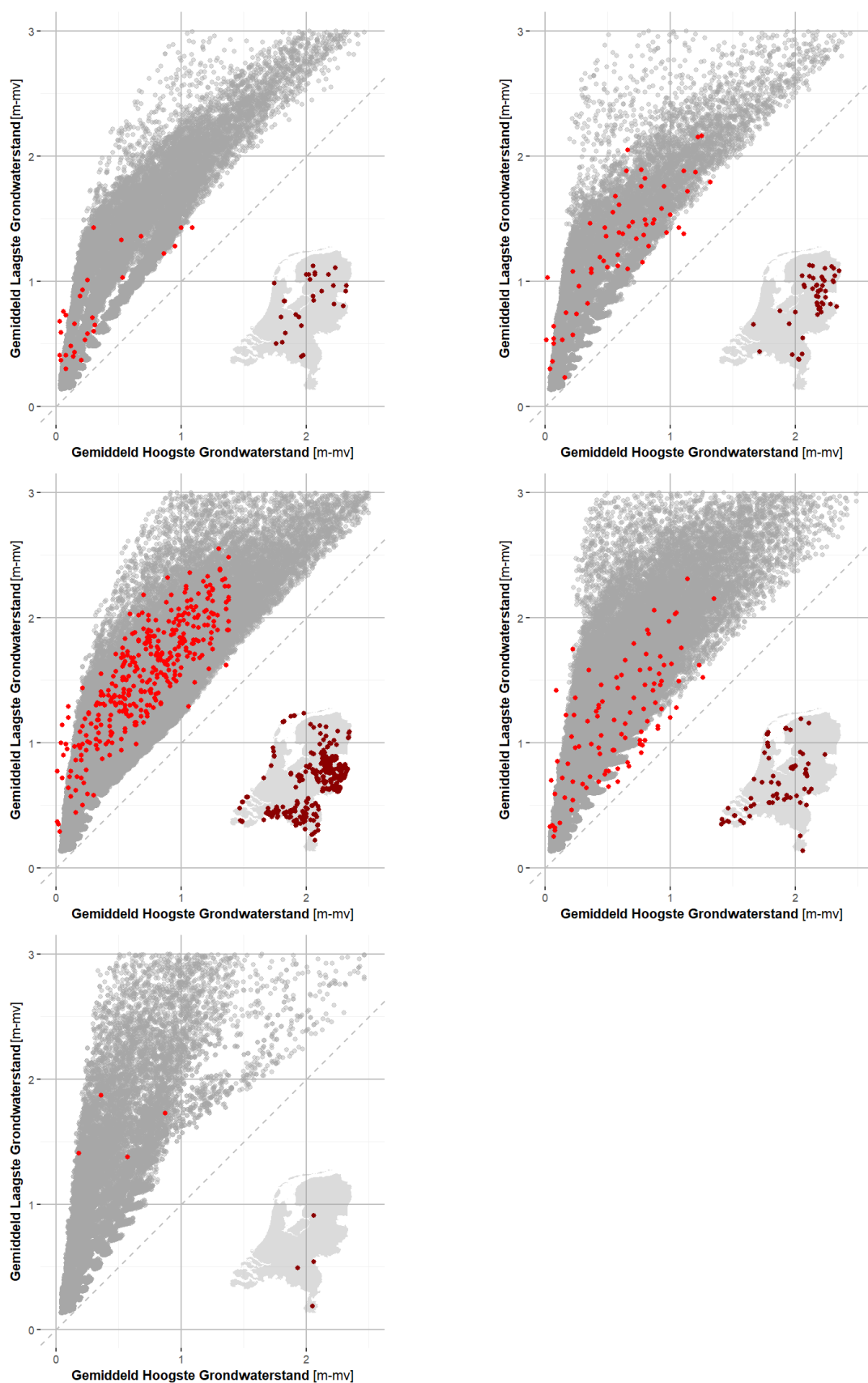
Werkgroep Waterwijzer Landbouw, 2018. *Waterwijzer Landbouw instrumentarium voor kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op landbouwproductie*. STOWA, Amersfoort. Stowa rapport: [no. 2018-48](#).

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).

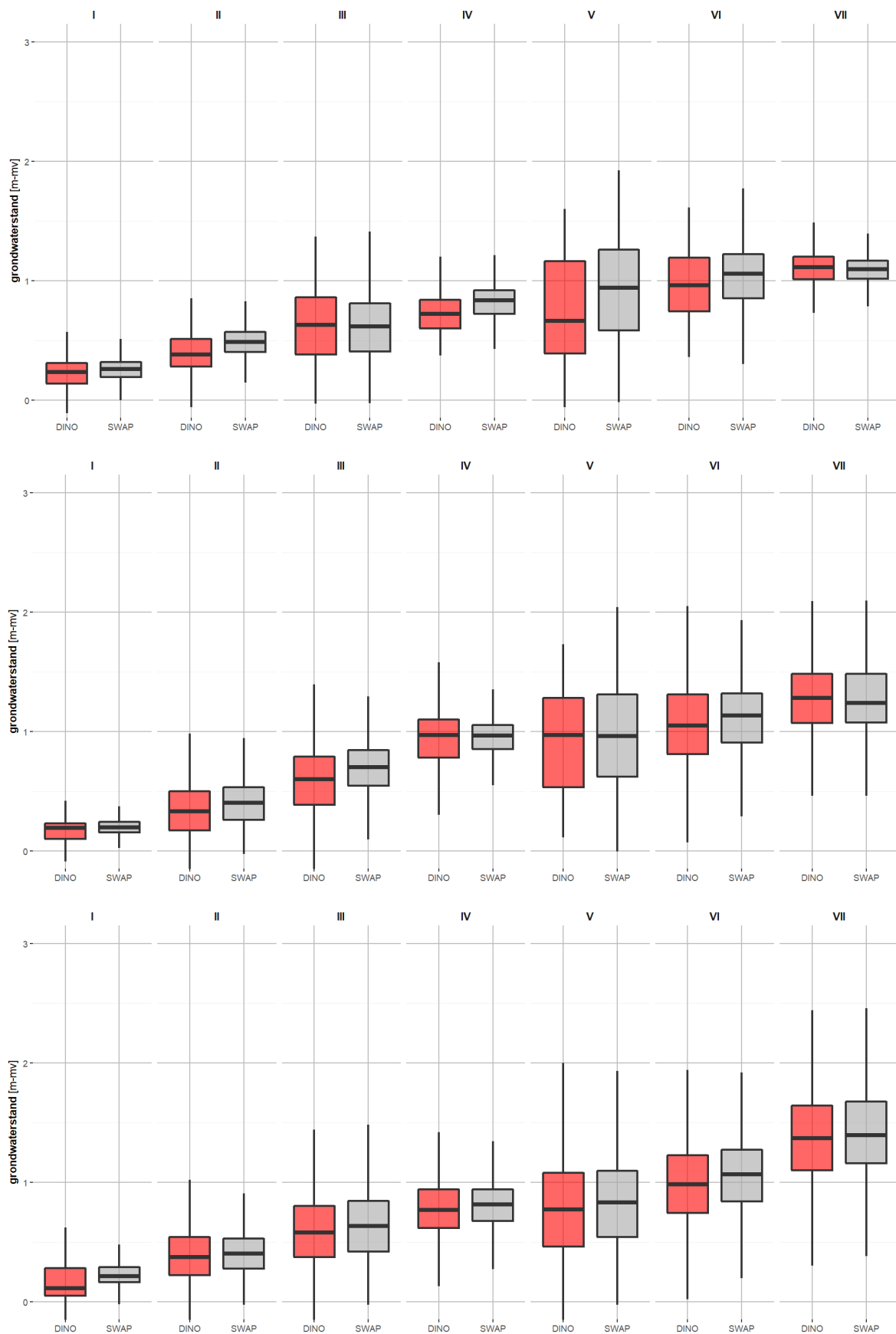
Wösten, J. H. M., G. J. Veerman, W. J. M. de Groot, J. Stolte, 2001. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks (vernieuwde uitgave 2001)*. Alterra, Wageningen. Rapport [153](#).

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>

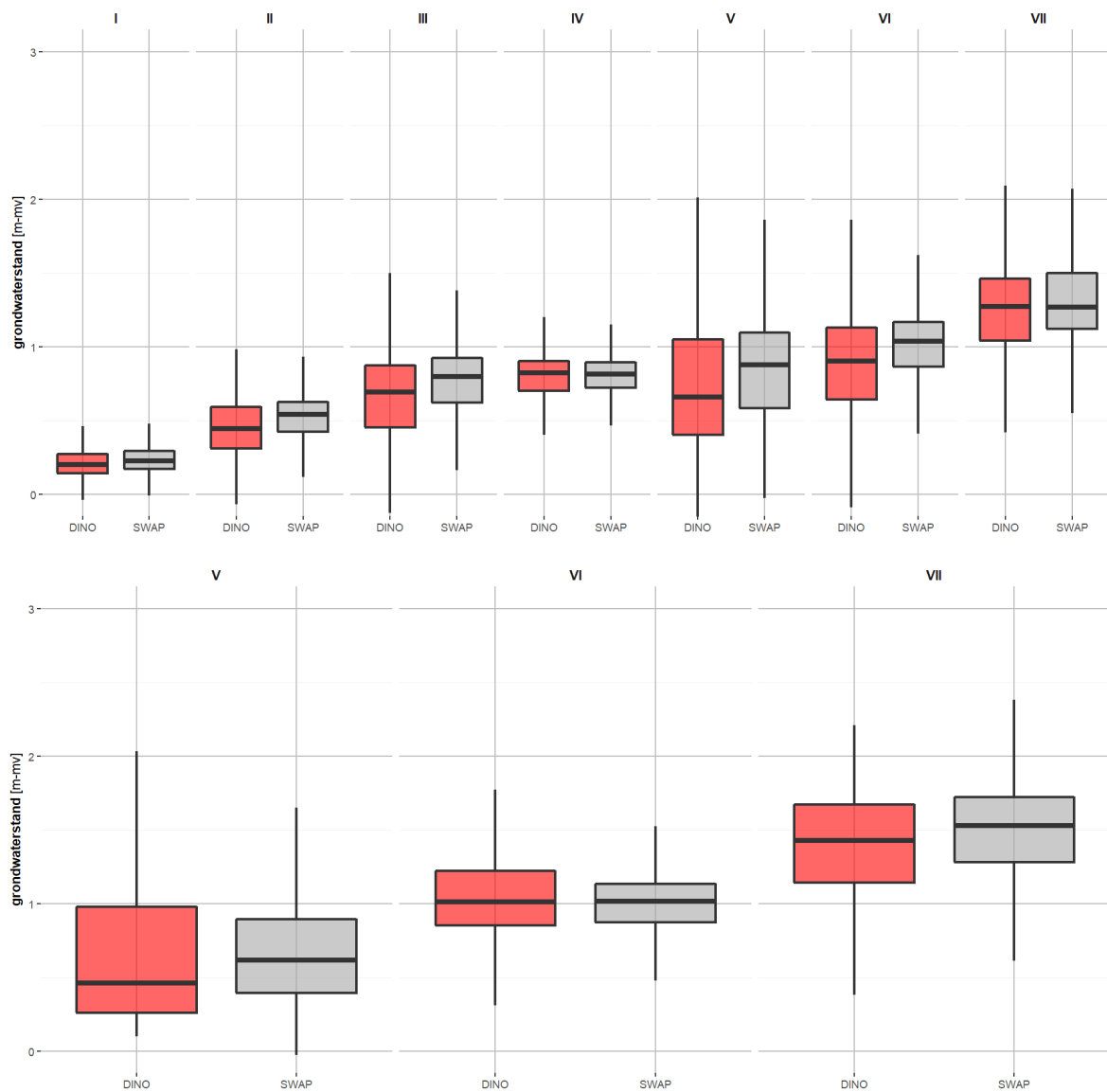
A. Vergelijking DINOloket



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

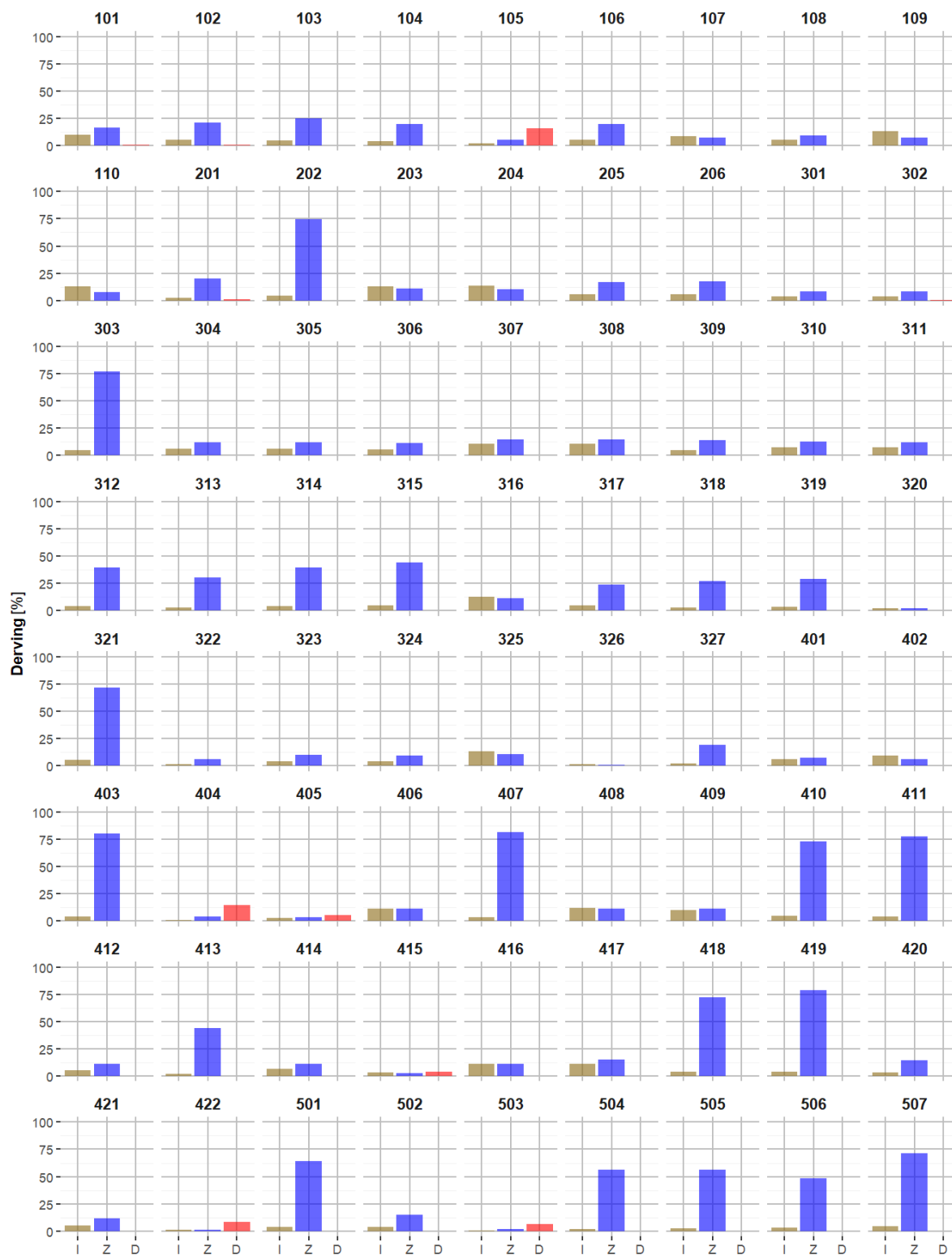


*Figuur A-2: Vergelijking van dynamiek onder verschillende hydrologische omstandigheden (Gt-
klassen); met in het rood de dynamiek de DINO peilbuisgegevens en in het grijs de SWAP-WOFOST
simulaties; van boven tot onder voor alle veengronden, moerige gronden, zandgronden*

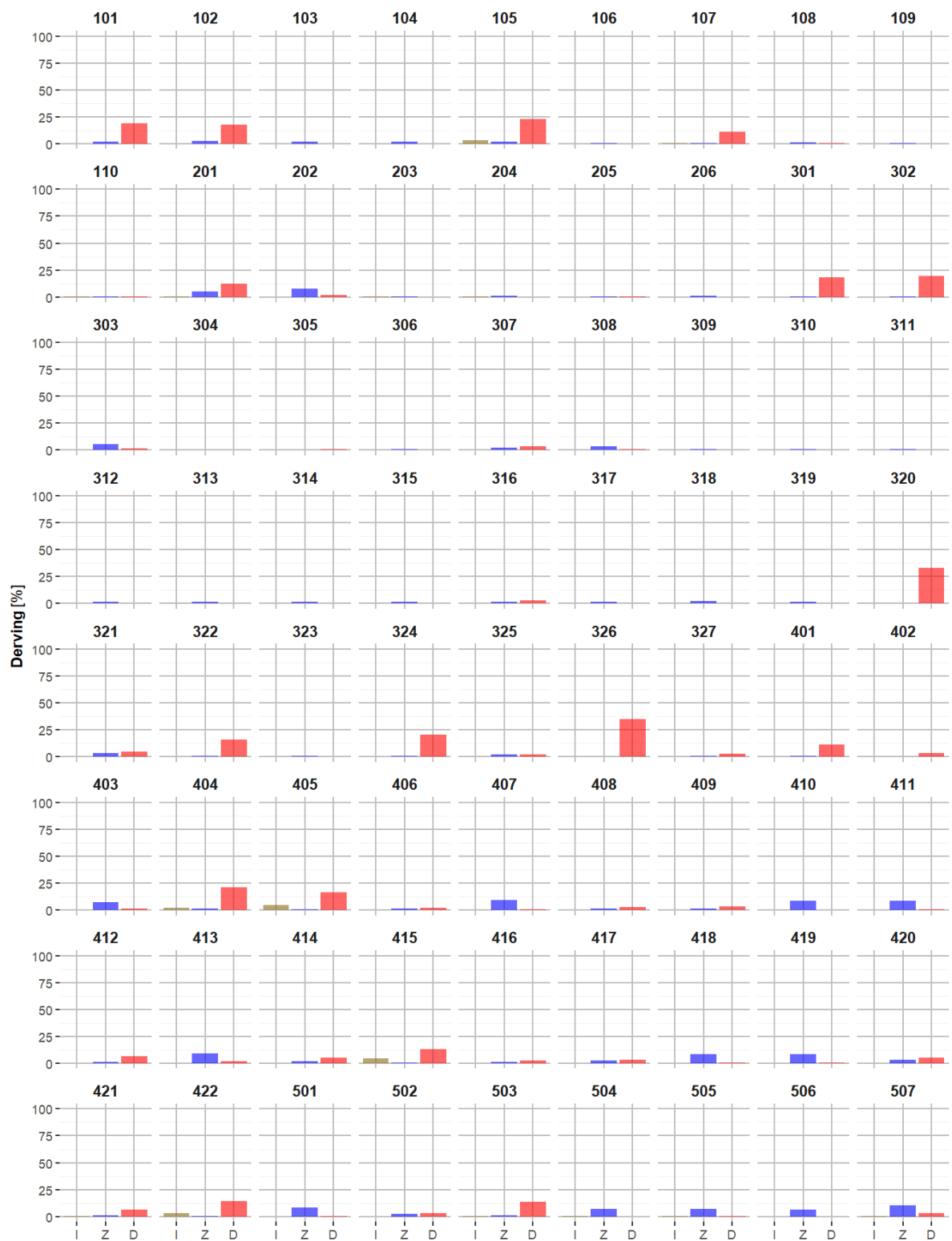


*Figuur A-3: Vergelijking van dynamiek onder verschillende hydrologische omstandigheden (Gt-
klassen); met in het rood de dynamiek de DINO peilbuisgegevens en in het grijs de SWAP-WOFOST
simulaties; voor alle kleigronden (boven) en lössgronden (onder)*

B. Resultaten WWL-metarelaties versie 1.0.0



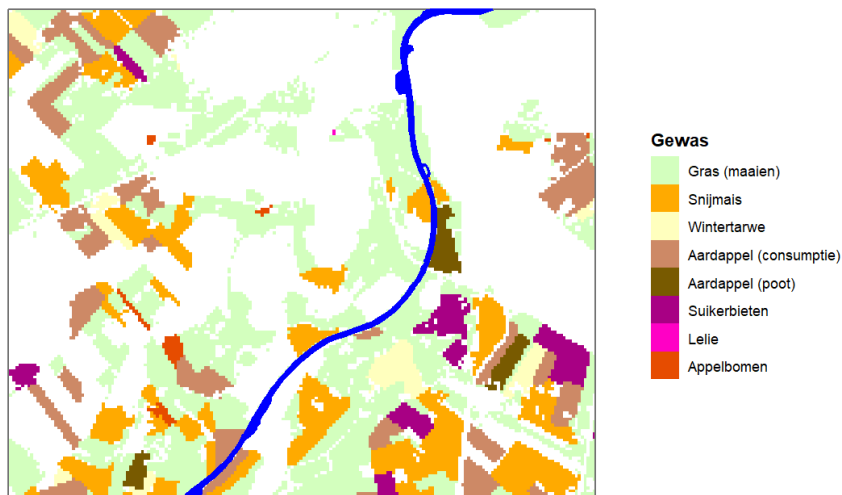
Figuur B-1: Langjarig gemiddelde opbrengstderving onder natte omstandigheden (GHG: 0.3 m-mv; GLG: 0.6 m-mv) uitgesplitst per BOFEK-eenheid op basis van WWL-metarelaties versie 1.0.0 [%]



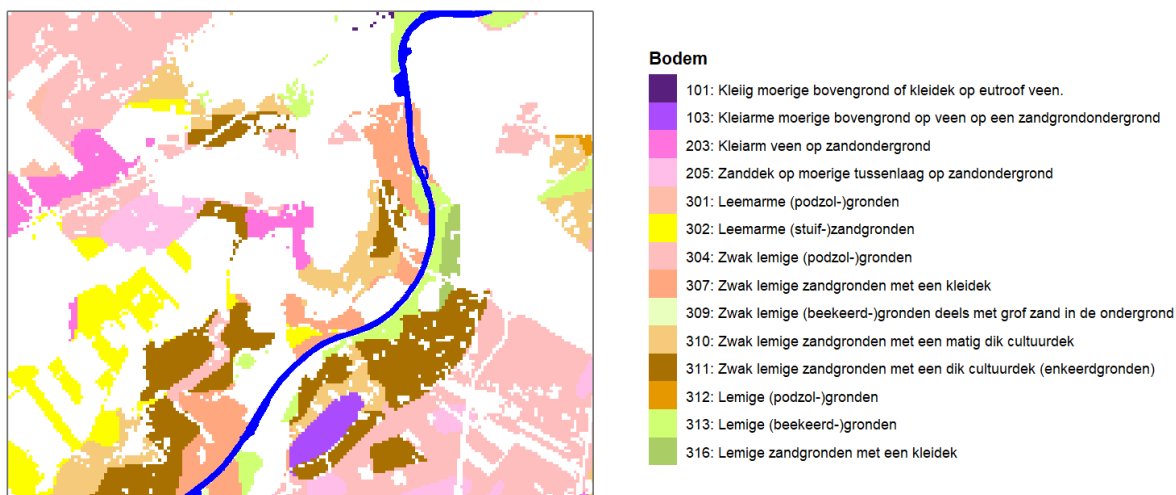
Figuur B-2: Langjarig gemiddelde opbrengstderving onder droge omstandigheden (GHG: 1.5 m-mv; GLG: 2.0 m-mv) uitgesplitst per BOFEK-eenheid op basis van WWL-metarelaties versie 1.0.0 [%]

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.

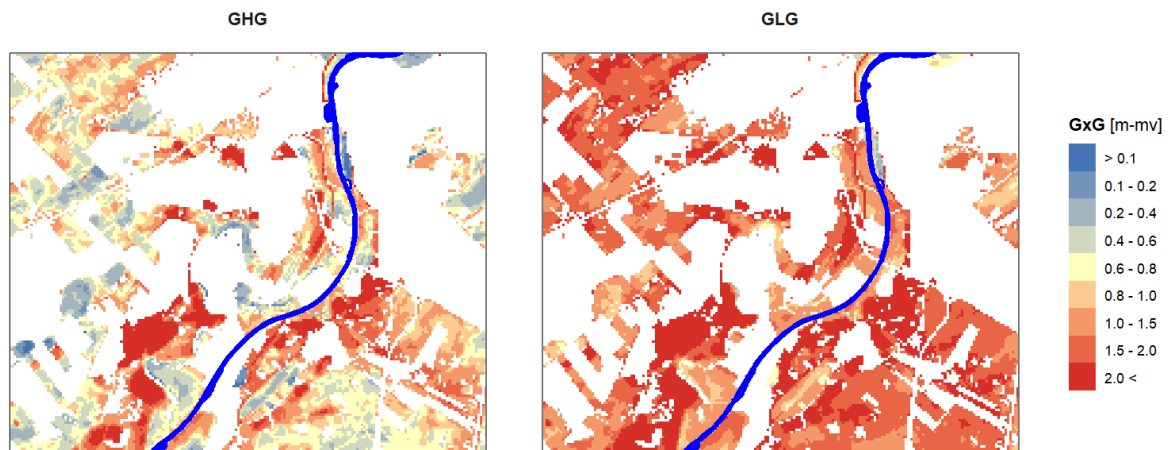


Figuur C-1: Landgebruik Rheezermaten



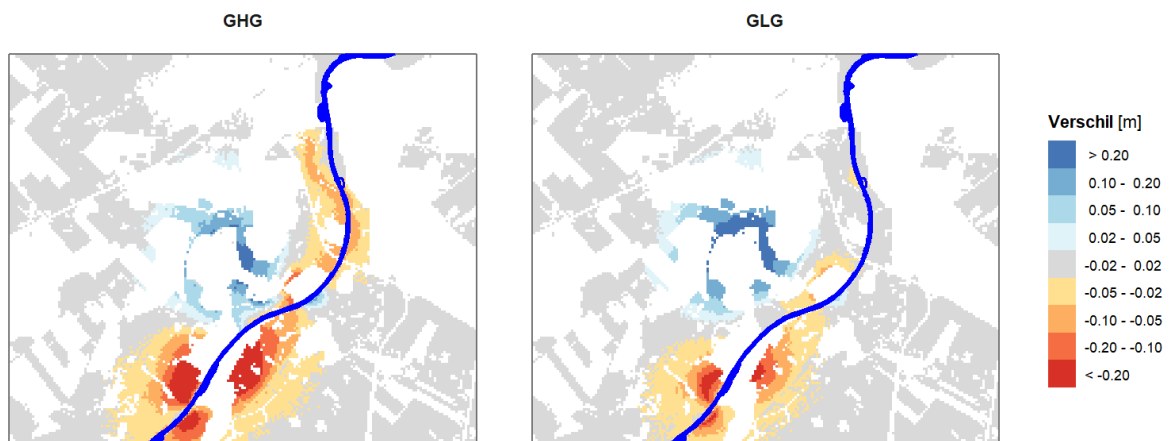
Figuur C-2: Bodemtype Rheezermaten (schematisatie: BOFEK)

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