

# PRAKTIJKTOETS WATERWIJZER LANDBOUW IN PILOTGEBIEDEN DE RAAM EN VECHT



RAPPORT

2017  
44

PRAKTIJKTOETS WATERWIJZER LANDBOUW IN  
PILOTGEBIEDEN DE RAAM EN VECHT

RAPPORT

2017

44

ISBN 978.90.5773.768.8



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

## AUTEUR(S)

Marius Heinen<sup>2</sup>  
Martin Mulder<sup>2</sup>  
Dennis Walvoort<sup>2</sup>  
Ruud Bartholomeus<sup>1</sup>  
Sija Stofberg<sup>1</sup>  
Mirjam Hack-ten Broeke<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wageningen Environmental Research

<sup>2</sup> KWR Watercycle Research Institute

## BEGELEIDING

Frank van der Bolt (Waterschap Aa en Maas)  
Chris Griffioen (vz, Waterschap Drents Overijsselse Delta)  
Chris van Rens (Waterschap Aa en Maas)  
Rob Ruijtenberg (Bureau WeL, namens STOWA)  
Bas Worm (Waterschap Vechtstromen)

Onderzoek mede mogelijk gemaakt door Kennisprogramma Lumbricus\*, Waterschap Aa en Maas, Waterschap Vechtstromen, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau  
STOWA STOWA 2017-42  
ISBN 978.90.5773.768.8

**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.

\*Lumbricus bestaat uit een consortium van partijen zijnde Waterschap Vechtstromen, Waterschap Aa en Maas, Waterschap Limburg, STOWA, Universiteit Twente, Radboud Universiteit, Wageningen University departement Omgevingswetenschappen, Wageningen Environmental Research, KWR Watercycle Research Institute, Deltares, KnowH2O, FutureWater, Louis Bolk Instituut.

# TEN GELEIDE

Waterwijzer Landbouw doorstaat praktijktoets op de zandgronden bij berekenen van gesplitst droogteschade en natschade.

In het kader van het kennisprogramma Lumbricus is voor twee gebieden op de zandgronden een praktijktoets uitgevoerd voor de Waterwijzer Landbouw. Geconcludeerd is dat het mogelijk is met de Waterwijzer Landbouw om uitgesplitst droogte en natschade voor gras en mais te berekenen. De studie heeft laten zien dat Waterwijzer Landbouw – zeker na uitbreiding voor andere gewassen en de bedrijfsvoering – een goed instrument is en onmisbaar is bij het doorrekenen van klimaatscenario's, het bepalen van effecten op gewasopbrengsten en voor het klimaat robuust inrichten van gebieden. Zo kan straks met behulp van de Waterwijzer Landbouw ook de meest geschikte gewassen voor specifieke gebieden bepaald worden.

Voor het bepalen van de effecten van de ingrepen in de waterhuishouding op landbouwopbrengsten zijn in Nederland al geruime tijd drie methodes in gebruik: de HELP-tabellen, de TCGB-tabellen en AGRICOM. In bijna elke berekening van die effecten wordt gebruik gemaakt van een van deze methodes.

De landbouw, waterbeheerders en waterleidingbedrijven dringen al langere tijd aan op een herziening van deze methodes, onder meer omdat ze gebaseerd zijn op verouderde meteorologische gegevens en ze niet klimaatrobust zijn. Bovendien wordt in de huidige methoden zout niet meegenomen. Met een droger klimaat gaat zout en het sturen met water op het zoutgehalte, een steeds belangrijker rol spelen in het waterbeheer.

Dit vormde in 2012 de aanleiding voor het project Waterwijzer Landbouw. Hierin ontwikkelen een groot aantal partijen een uniform, breed gedragen en praktische methode voor het bepalen van klimaatbestendige relaties tussen waterhuishoudkundige condities, de veranderingen daarin en gewasopbrengsten. Op deze wijze krijgen waterbeheerders, maar ook agrariërs, een veel nauwkeurigere inschatting van het effect van waterhuishoudkundige maatregelen op landbouwkundige opbrengsten, in termen van droogteschade, natschade en zoutschade.

De Waterwijzer Landbouw wordt in een aantal fasen gerealiseerd en is gestart in 2012. Delen zijn al gereed\*, zoals de effectbepaling van ingrepen in de waterhuishouding en het veranderende klimaat op de gewasgroei van gras en mais. De ontwikkeling van Waterwijzer Landbouw nadert de afronding. Aan akkerbouw en groentegewassen en de effecten van bedrijfsvoering wordt nog gewerkt en zal mei 2018 gereed zijn. Nu het ontwikkelen bijna gereed is, was er behoefte aan een praktijktoets. Dit rapport geeft deze toets weer.

\*STOWA 2013 22 Actualisatie schadefuncties landbouw; Fase 1

\*STOWA 2013-37 Actualisatie schadefuncties voor de landbouw; Tussenfase 2a: Plausibiliteitstoets SWAP en enkele verkennende berekeningen

\*STOWA 2015-16 Waterwijzer Landbouw fase 2. Modelleren van het bodem-water-plantsysteem met het gekoppelde instrumentarium SWAP-WOFOST

\*STOWA 2017-W01 Kennis over indirecte nat- en droogteschade bij gras en mais voor Waterwijzer Landbouw.

\*STOWA 2017-7 Waterwijzer Landbouw fase 3: Naar een operationeel systeem voor gras en mais.

Binnen het kennisprogramma Lumbricus zal Waterwijzer verder afgerond worden en zal samen met de waterschappen het instrument verder toegepast worden om het inzicht in bodem en watersamenstel te kwantificeren en te optimaliseren. Daarnaast wordt samen met waterschappen, provincies en het deltaprogramma zoetwater verkend of en hoe ook een praktijktoets in Laag Nederland gedaan kan worden.

Amersfoort, december 2017

Directeur STOWA

Joost Buntsma

# SAMENVATTING

In deze studie, uitgevoerd in het kader van kennisprogramma Lumbricus, is een prototype van het instrumentarium Waterwijzer Landbouw voor het eerst toegepast in twee pilotgebieden: de Raam (voor waterschap Aa en Maas), en de Vecht deelgebied Stegeren (voor waterschap Vechtstromen). Daarbij draait het om het kwantificeren van effecten van hydrologische omstandigheden op de landouwoopbrengsten in de huidige situatie en als gevolg van ingrepen of als gevolg van klimaatverandering (met name bij de Vecht). Ook diende de vraag zich aan of Waterwijzer Landbouw het verschil tussen jaren kan kwantificeren en hoe bruikbaar het instrumentarium is voor extreme situaties (uitgewerkt voor de Raam).

Waterwijzer Landbouw bestaat uit twee hoofdcomponenten waarmee opbrengstderving vastgesteld kan worden: 1) eenvoudig toepasbare metarelaties vastgesteld op basis van een groot aantal vooraf berekende situaties met behulp van het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST (dit noemen we voorlopig de WWL-tabel), en 2) het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST waarmee maatwerkberendingen kunnen worden uitgevoerd. Omdat bij aanvang van onderhavige studie Waterwijzer Landbouw nog niet helemaal was uitontwikkeld, is deze studie beperkt tot opbrengstderving als gevolg van droogte- of natschade voor gewassen gras en mais; overige gewassen en indirecte schade zijn dus buiten beschouwing gelaten.

Uit deze studie blijkt dat het mogelijk is om op basis van bestaande informatie (LGN5, BOFEK2012) en door de waterschappen aangeleverde grondwaterstandsgegevens, namelijk GxG, opbrengstderving (directe schade: totaal, en uitgesplitst over aandeel droogte- en aandeel natschade) voor gras en voor mais te berekenen. Dit is gedaan aan de hand van de WWL-tabel.

Voor de Raam zijn berekeningen uitgevoerd met de WWL-tabel voor de huidige situatie. Hierbij zijn langjarig gemiddelde opbrengstdervingen bepaald (30 jaar) als ook opbrengstdervingen voor twee specifieke kalenderjaren (droog, nat). Omdat voor specifieke gebeurtenissen binnen een jaar de WWL-tabel niet kan worden toegepast, zijn voor pilotgebied de Raam maatwerkberendingen met het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST uitgevoerd. Hiermee is laten zien dat het dan wel mogelijk is om in te zoomen op specifieke gebeurtenissen, zoals de natte periode begin juni 2016 die in de Raam op verschillende locaties tot opbrengstderving heeft geleid. Met SWAP-WOFOST is het mogelijk het effect van hevige neerslaggebeurtenissen op de gewasopbrengst bij verschillende bodemtypen en ontwateringsdiepten inzichtelijk te maken.

Voor deelgebied Stegeren zijn berekeningen met de WWL-tabel uitgevoerd voor de huidige situatie en zijn tevens twee scenario's beschouwd (langjarige gemiddelde opbrengstdervingen): het effect van een inrichtingsmaatregel (herinrichting van de Vecht inclusief peil aanpassing) op verandering in GxG en daarmee op de opbrengstderving, en het effect van een KNMI klimaatscenario (met bijkomend effect op GxG) op de opbrengstderving. Daarnaast is voor stroomgebied De Vecht het effect van de inrichtingsmaatregel berekend met Waterwijzer Landbouw (WWL-tabel) vergeleken met uitkomsten van de HELP-tabel.

Deze studie laat zien dat je met Waterwijzer Landbouw meer kunt dan met de HELP-tabellen.

Met Waterwijzer Landbouw:

- 1 kunnen langjarige, gemiddelde opbrengstdervingen voor het recente klimaat (1981-2010) opgevraagd worden;
- 2 kunnen nu ook de opbrengstdervingen voor specifieke jaren opgevraagd worden;
- 3 kunnen de effecten van klimaatscenario's op de relatie tussen waterhuishouding en gewasopbrengst (doorgerekend worden (periode 2036-2065);
- 4 kunnen de effecten van planvorming (bijv. herinrichting, peilbeheer via hun effecten op benodigde invoer zoals grondwaterstanden) doorgerekend worden voor huidig of toekomstig klimaat;
- 5 kunnen verschillende grondwaterstandsdynamieken beschouwd worden (GxG, grondwaterstandsmomenten);
- 6 kunnen optimale grondwaterstanden (doelgaten) voor aanwezige gewassen en meest geschikte gewassen voor specifieke gebieden worden gedefinieerd (geschiktheidskaarten);
- 7 kunnen aanvullend maatwerkberekeningen uitgevoerd worden om bijvoorbeeld het effect van extreme neerslaggebeurtenissen op opbrengstderving op lokale schaal (perceel) nader te bestuderen.

Punten 1 tot en met 6 kunnen met de WWL-tabel bepaald worden, en punt 7 met het model-instrumentarium SWAP-WOFOST.

Op deze manier geldt dat de gebruikers, bijvoorbeeld waterschappen, meer ruimte hebben dan met de huidige HELP-tabellen, om effecten van klimaat, inrichtingsmaatregelen, of extreme situaties te beschouwen. Uiteraard geldt, zoals bij elke modeltoepassing, dat de kwaliteit van de uitkomsten vooral ook bepaald wordt door de kwaliteit van de aangeleverde informatie en invoerdata.

Deze eerste toepassing voor twee pilots heeft tevens een aantal verbeterwensen aan het licht gebracht. Deze hebben betrekking op:

- een grotere range van grondwaterstandsregimes, omdat bij de toepassing is gebleken dat voor sommige combinaties van grondwaterstanden de WWL-tabel geen resultaten opleverde. In de definitieve versie van de WWL-tabel moet dit (grotendeels) verholpen zijn;
- communicatie over de werking van Waterwijzer Landbouw en de twee mogelijke opties van toepassing, namelijk de eenvoudig toepasbare WWL-tabel en het modelinstrumentarium voor maatwerktoepassingen. Het onderscheid tussen de twee componenten van Waterwijzer Landbouw lijkt lastig te zijn. Voor verbeterde communicatie is intussen een nadere studie uitgevoerd en de aanbevelingen zullen de nodige aandacht krijgen;
- de presentatievorm van kaarten met in de legenda het gebruik van 'schade' bleek verwarrend. De kaarten geven feitelijk opbrengstderving aan en in tweede instantie is voor deze rapportage ook van die term gebruik gemaakt. De kaarten met opbrengstderving voor maïs kunnen geïnterpreteerd worden als geschiktheidskaarten voor maïsteelt.
- het nader verkennen welke grondwaterstandskarakteristieken (in plaats van GxG) bruikbare verklarende variabelen voor de opbrengstderving zijn.

# 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 onderzoeklijnen 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 van 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.*



# PRAKTIJKTOETS WATERWIJZER LANDBOUW IN PILOTGEBIEDEN DE RAAM EN VECHT

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Probleemstelling	1
	1.2 Achtergrond	1
	1.3 Projectdoelstelling	2
	1.4 Projectresultaat	3
	1.5 Projectafbakening	3
	1.6 Effect/Toepassingsmogelijkheden voor de opdrachtgever	3
<b>2</b>	<b>WATERWIJZER LANDBOUW</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>PILOTGEBIEDEN DE RAAM EN DE VECHT</b>	<b>8</b>
	3.1 De Raam	9
	3.2 De Vecht	11

<b>4</b>	<b>RESULTATEN</b>	14
<b>4.1</b>	<b>De Raam</b>	14
4.1.1	Langjarig gemiddelde opbrengstderving	14
4.1.2	Opbrengstdervingen voor specifieke jaren	16
4.1.3	Overzicht opbrengstdervingen	17
4.1.4	Maatwerkberekeningen met SWAP-WOFOST	17
<b>4.2</b>	<b>De Vecht (Stegeren)</b>	33
4.2.1	Huidig scenario	34
4.2.2	Effect inrichtingsmaatregel	35
4.2.3	Effect klimaatscenario's	36
4.2.4	Vergelijking met de HELP-tabel	38
4.2.5	Overzicht opbrengstdervingen	38
4.2.6	Samenvatting	40
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	41
	<b>LITERATUUR</b>	44
	<b>BIJLAGE 1</b>	
	Analyse effect verschillende bodemprofielen binnen een BOFEK2012 eenheid	46

# 1

## INLEIDING

### 1.1 PROBLEEMSTELLING

Deze pilotstudie is één van de onderdelen van het programma Lumbricus. De teksten in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op de beschrijving van dat programma. Lumbricus is opgezet om een bijdrage te leveren aan het oplossen van de bodem- en waterproblematiek van de hogere zandgronden voor nu en de toekomst.

De hoge zandgronden kennen een aantal lastige problemen als het gaat om het functioneren van het bodem- en watersysteem. Daar waar een groot deel van Nederland van water voorzien kan worden vanuit het hoofdwatersysteem (grote rivieren en IJsselmeer), is dat voor de hoge zandgronden maar beperkt mogelijk (circa 1/3 deel). Het overgrote deel van de hoge zandgronden moet het dus doen met het water 'dat er is of valt'. De bronnen voor zoetwater zijn daarmee anders dan in laag-Nederland en daarmee ook de manier hoe hier mee om te gaan. Door klimaatverandering met meer droogte en meer extreme neerslaghoeveelheden zal het verschil met holoceen Nederland alleen maar groter worden.

Water- en bodembeheerders staan voor de opgave om vele doelen te realiseren in een veranderende omgeving, waarbij kosteneffectiviteit en maatschappelijk draagvlak belangrijke randvoorwaarden zijn. Deze opgave vraagt om kennisontwikkeling en innovaties voor werkbare oplossingen. In het programma Lumbricus worden bestaande concepten doorontwikkeld en getest in de praktijk. Ook worden nieuwe instrumenten, tools en concepten ontwikkeld en toegepast en verbeterd. Daarmee zorgt het programma voor valorisatie (op inhoud en proces) en draagt bij aan vernieuwend, integraal bodem- en waterbeheer. Kern van Lumbricus is de integrale, gebiedsgerichte benadering van het bodem- en watersysteem, samen met belanghebbenden.

Het realiseren van de bovengenoemde uitdagingen kent een sterke verwevenheid en onderlinge afhankelijkheid. Het onderliggende bodem- en watersysteem vormen daarbij een verbindende factor. Voor duurzame en klimaatrobuuste oplossingen wordt daarom in Lumbricus aangesloten op het lokaal en regionaal aanwezige bodem- en watersysteem. Een belangrijke vraag hierbij is: op welke manier draagt de toepassing van Waterwijzer Landbouw bij aan het scherp krijgen van de gebiedsopgaven en de beoordeling van wat geschikte maatregelen zijn om die gebiedsopgaven in te vullen?

### 1.2 ACHTERGROND

Er zijn in de afgelopen jaren verschillende onderzoeken en ontwikkelingen in gang gezet voor een klimaatbestendige duurzame inrichting van het bodemwatersysteem. Lumbricus beoogt toepassing van deze nieuwe kennis en het toetsen van recent ontwikkelde kennis- en beslissingsondersteunende systemen in de praktijk. Het onderzoek binnen Lumbricus draait

om effectiviteit van maatregelen op het gebied van duurzaam bodembeheer in relatie tot bodemgebruik en waterbeheer op zowel lokale als regionale schaal.

Voor lopend onderzoek en voor systemen in ontwikkeling, zoals Waterwijzer Landbouw<sup>1</sup> (Bartholomeus et al., 2013; Hack-ten Broeke et al., 2013; Kroes et al., 2015), geldt dat toepassing in de praktijk en de bijbehorende monitoring nieuwe inzichten opleveren die bijdragen aan verdere verbetering van de systemen in ontwikkeling.

De ontwikkeling van Waterwijzer Landbouw is een parallel project met als einddoel een uniform en breed gedragen systeem voor het bepalen van klimaatrobuuste relaties tussen waterhuishoudkundige condities en gewasopbrengsten, ter vervanging van (op termijn) de huidige beschikbare systemen. Het totale projectresultaat van Waterwijzer Landbouw bestaat uit vier onderdelen:

- 1 Operationeel model SWAP-WOFOST, voor het berekenen van gewasopbrengsten in relatie tot droogte, zuurstoftekort en zout, geschikt voor gebruik door deskundigen;
- 2 Operationele modelkoppelingen met enerzijds BBPR en anderzijds de KWIN-database of een andere methodiek voor respectievelijk melkveehouderij en akkerbouw/vollegroondsgroenten-/bloembollenteelt, voor het berekenen van agrarische bedrijfseconomische resultaten en indirecte effecten van droogte, zuurstoftekort en zout. Ook deze koppelingen zijn in eerste instantie geschikt voor gebruik door deskundigen;
- 3 Metarelaties (die samen een metamodel vormen), gemaakt met behulp van de beschikbare modelinstrumenten, bijvoorbeeld gepresenteerd in de vorm van functies en grafieken, vervat in eenvoudige software, waarbij grondwaterstandskarakteristieken en zoutconcentraties resulteren in opbrengstdepressiepercentages met onderscheid in a) directe en b) indirecte hydrologische effecten (droogte-, nat- en zoutschade) en c) gevolgen voor het agrarisch bedrijfsinkomen.
- 4 Tool gebaseerd op die metarelaties, beschikbaar voor verschillende toepassingen, gerelateerd aan tools van gebruikers.

Bij de uitvoering van onderhavig project zijn onderdelen 1 en 4, en deels ook onderdeel 3 voor grasland en maïs als prototype beschikbaar en hier toegepast. Overige gewassen en onderdeel 2, en daarmee de kwantificering van opbrengstderving op bedrijfsniveau (BBPR) is in deze studie dus niet meegenomen. Door Waterwijzer Landbouw al in de ontwikkelingsfase toe te passen voor de twee deelgebieden, worden de toekomstige gebruikers tijdig meegenomen in de toepassingsmogelijkheden van de nieuwe methode. Ook kunnen benodigde aanpassingen die volgen uit deze 'proeftoepassing' nog worden meegenomen in de verdere ontwikkeling van Waterwijzer Landbouw.

### 1.3 PROJECTDOELSTELLING

We vertalen de vraag 'op welke manier draagt de toepassing van Waterwijzer Landbouw bij aan het scherp krijgen van de gebiedsopgaven en de beoordeling van wat geschikte maatregelen zijn om die gebiedsopgaven in te vullen' naar de volgende doelstellingen.

- De doelstelling voor Waterwijzer Landbouw (als klimaatbestendig systeem voor de kwantificering van effecten van hydrologische maatregelen voor de landbouw) binnen Lumbricus is dat we aan het eind van het programma een getoetst systeem hebben dat bruikbaar is voor verschillende doelen, op verschillende schalen en door verschillende gebruikers.
- Bij verschillende gebruiksdoelen denken we aan het kwantificeren van landbouwschade als gevolg van hydrologische ingrepen in verschillende jaren en ook aan effecten van bo-

<sup>1</sup> [www.waterwijzer.nl](http://www.waterwijzer.nl)

demmaatregelen op landbouwopbrengsten, aan het draagvlak binnen de landbouwsector en de inzetbaarheid voor het toekomstig klimaat en het effect van extreem weer.

- Naast het doel van het toepassen van Waterwijzer Landbouw in de vorm van verkennende berekeningen voor de verschillende vragen in de proeftuinen is er ook het doel van verbetering van het instrument Waterwijzer Landbouw zelf.

Enkele concrete vragen die in onderhavige studie aan bod komen zijn:

- Hoe bruikbaar is Waterwijzer Landbouw voor planontwikkeling?
- Hoe bruikbaar is Waterwijzer Landbouw in extreme situaties?
- Hoe verhoudt zich de nieuwe methode tot de oude (HELP-tabellen)?

#### 1.4 PROJECTRESULTAAT

Geleverde opbrengsten en producten:

- 1 Eerste toepassing en rapportage van het prototype van de metarelaties Waterwijzer Landbouw voor gras en maïs in de proeftuinen de Raam en de Vecht.
- 2 Eerste toepassing maatwerkberekeningen Waterwijzer Landbouw, dus met het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST in de proeftuin, gevolgd door een evaluatie en verbeterwensen. De invulling van deze toepassing is sterk afhankelijk van de beschikbare data.

#### 1.5 PROJECTAFBAKENING

Dit project is een eerste start van toetsing in de praktijk voor de twee pilotgebieden in de stroomgebieden van de Raam en van de Vecht. Er is uitgegaan van de modellen SWAP en WOFOST, zodat primair alleen directe schade wordt beschouwd voor de gewassen gras en maïs; de koppeling met BBPR was bij aanvang van deze studie nog niet gerealiseerd zodat BBPR aspecten niet worden meegenomen in onderhavige studie. De verbetering van Waterwijzer Landbouw vindt niet binnen dit project plaats. Het vervolg binnen Lumbricus moet nog nader worden gedefinieerd en maakt dus geen onderdeel uit van dit eerste project.

#### 1.6 EFFECT/TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VOOR DE OPDRACHTGEVER

De doelstelling voor Waterwijzer Landbouw (als klimaatbestendig systeem voor de kwantificering van effecten van hydrologische maatregelen voor de landbouw) binnen Lumbricus is dat we aan het eind van het programma een getoetst systeem hebben dat bruikbaar is voor verschillende doelen, op verschillende schalen en door verschillende gebruikers.

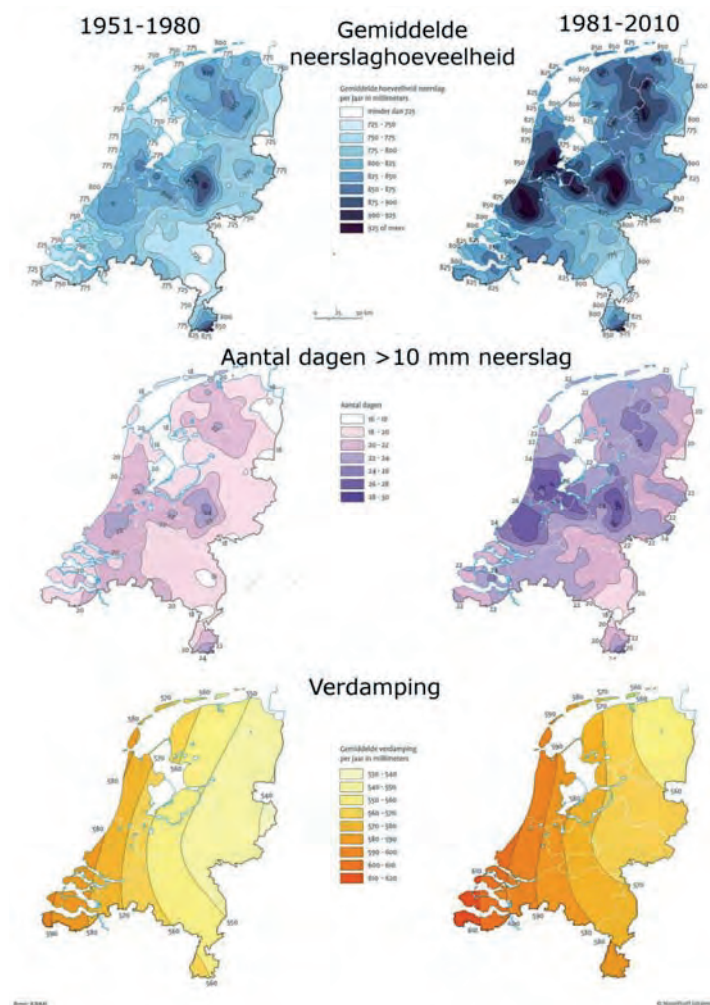
Deze eerste deelstudie zal inzicht verschaffen in de bruikbaarheid van Waterwijzer Landbouw voor de planontwikkeling. Bovendien is het belangrijk voor de opdrachtgevers om te weten hoe Waterwijzer Landbouw zich verhoudt tot de oude methodiek van de HELP-tabellen en dus in hoeverre de resultaten verschillen. Een andere belangrijke eerste vraag is ook hoe Waterwijzer Landbouw kan worden gebruikt voor het doorrekenen van extreme weersituaties, zoals die zich voordeden in het voorjaar/begin van de zomer van 2016.

## 2

## WATERWIJZER LANDBOUW

Om veranderingen in het waterbeheer te vertalen naar wijzigingen van landbouwopbrengsten zijn in Nederland drie methodes operationeel: de HELP-tabellen, de TCGB-tabellen. Vanuit de landbouw en het waterbeheer is lang aangedrongen op een herziening van de HELP-tabellen, omdat die verouderd zijn. Zo is de bepaling van nat- en droogteschade met de HELP-tabellen gebaseerd op verouderde meteorologische gegevens (1951-1980) (Figuur 2.1) en verouderde gewasgegevens, geven ze alleen langjarig gemiddelde opbrengstdervingen, een niet meer bestaand model aangevuld met expert judgement (empirisch), en ontbreekt zoutschade. Vanuit de praktijk is juist interesse in de variatie van de opbrengstderving in de tijd. Bovenal zijn de HELP-tabellen ongeschikt voor toepassing in het steeds grilliger huidige klimaat én het klimaat van de nabije toekomst (Van Bakel en Van den Eertwegh, 2011).

FIGUUR 2.1 VERSCHILLEN IN NEERSLAG EN VERDAMPING VOOR DE PERIODES 1951-1980 (ZOALS GEBRUIKT BIJ AFLEIDING HELP TABELLEN) EN 1981-2010 (ZOALS GEBRUIKT IN WATERWIJZER LANDBOUW (BRON: BOSATLAS VAN HET KLIMAAT, 2011))



Er is daarom behoefte aan klimaatrobuste bepaling van landbouwschade, zoals beschreven in een eerder uitgevoerde inventarisatie naar de behoefte voor de vervanging van de HELP-tabellen (Hack-ten Broeke et al., 2010). Dit heeft ertoe geleid dat het project Waterwijzer Landbouw is gestart met als doel: een actualisatie van de schadefuncties in de landbouw, met als voorwaarden:

- klimaatbestendig;
- op basis van bestaande kennis;
- voor huidig en toekomstig klimaat;
- kwantificeren van verschillen tussen jaren;
- effecten van extreem weer;
- rekening houdend met huidige agrarische bedrijfsvoering;
- voor droogte-, zout- en natschade.

Een (klimaat)robuste vertaling van waterhuishoudkundige condities naar gewasopbrengst moet gebaseerd zijn op processen in de wisselwerking tussen bodem, water, plant en atmosfeer (Bartholomeus et al., 2013). In Waterwijzer Landbouw is gekozen om die wisselwerking te beschrijven aan de hand van een gekoppeld bodem-gewas model (Figuur 2.2; Tabel 2.1), namelijk via de koppeling van SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant; Kroes et al., 2009) en WOFOST (WORld FOod STudies; Boogaard et al., 2011). Het model SWAP simuleert transport van water, opgeloste stoffen en warmte in de onverzadigde en verzadigde zone. Een belangrijke component in SWAP is de beschouwing van wateropname door het gewas, en hoe deze door droogte, gebrek aan zuurstof (natschade) en zoutgehalte kan worden gereduceerd (Bartholomeus et al., 2013; Hack-ten Broeke et al., 2013). Gereduceerde transpiratie heeft gevolgen voor de gewasgroei. De berekende reductie wordt daarom als invoer gebruikt voor het gewasgroeimodel WOFOST. De potentiële groei in WOFOST wordt hierop aangepast en resulteert in een berekening van de actuele groei. Hierbij wordt opgemerkt dat de groeireductie niet lineair afhankelijk is van de transpiratiereductie, en dat er compensatie in gewasproductie kan plaatsvinden na eerder opgelopen groeireductie.

In principe kan het gekoppelde model SWAP-WOFOST voor elk denkbare situatie in Nederland toegepast worden, maar dat vraagt veel expert kennis voor zowel modelgebruik als voor benodigde invoer. Voor meer praktisch gebruik is in Waterwijzer Landbouw voorgesteld om op basis van een groot aantal scenarioberekeningen eenvoudige relaties (metarelaties) af te leiden waarbij de opbrengstderiving van het gewas als gevolg van droogteschade, natschade of zoutschade is gekoppeld aan bodemsoort en grondwaterstandskarakteristieken (GxG's en grondwaterstandsmomenten). De scenario's zijn vastgesteld op basis van

- huidig weer (1981-2010) en 4 KNMI klimaat scenario's
- 5 weerstations (1: De Bilt, 2: Maastricht, 3: Eelde, 4: De Kooi, 5: Vlissingen)
- 72 bodemfysische eenheden (BOFEK2012, Wösten et al., 2013)
- 2 gewassen (gras, en mais)
- 100 varianten van grondwaterstandsverlopen / ontwateringsdieptes

Op basis van de metarelaties die uit deze database zijn afgeleid kan dan op eenvoudige wijze voor een willekeurig gebied de opbrengstderiving worden berekend voor bekende bodemsoort en grondwaterstandskarakteristieken. Dergelijke metarelaties zijn op nationale schaal afgeleid; voor deze studie zijn alleen de klimaatgegevens van de Bilt gebruikt.

De toepassing van de metarelaties is inmiddels geautomatiseerd beschikbaar middels de zogenaamde WWL-tabel. Op basis van door de gebruiker aan te leveren voornoemde basisinfor-

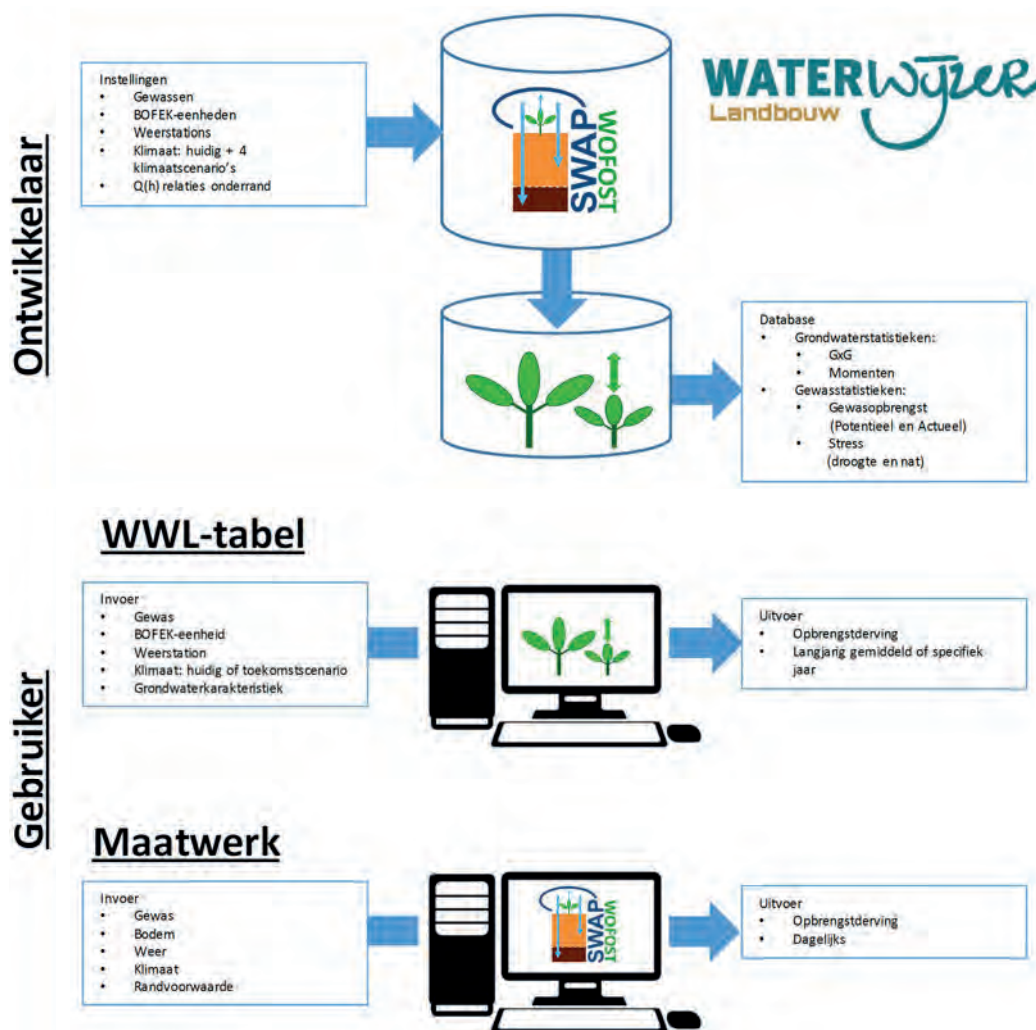
matie wordt hieraan de berekende totale, droogte- en natschade gekoppeld. De resultaten in deze studie zijn verkregen met behulp van deze WWL-tabel.

**TABEL 2.1**      **BEGRIPPENLIJST**

<b>Begrip</b>	<b>Uitleg</b>
Grondwaterstandskarakteristiek	Kengetallen van de grondwaterstandsdynamiek.
GxG	Combinatie van GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) en GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand).
Grondwaterstandsmomenten	Samenvatting grondwaterstandsdynamiek in statistische momenten: gemiddeld, spreiding, scheefheid.
Opbrengstderving	Reductie in gewasopbrengst, hier als gevolg van droogte- of natschade. Reductie is relatief ten opzichte van potentiële groei op gewichtsbasis (kg kg <sup>-1</sup> ).
Direct	Reductie in gewasopbrengst als gevolg van transpiratiereductie door te droge of te natte omstandigheden.
Indirect	Reductie in gewasopbrengst als gevolg van uitstel bodem- en gewasmanagementactiviteiten, zoals effecten op zaai- en oogsttijdstip (niet beschouwd in dit rapport).
Waterwijzer Landbouw	Modelinstrumentarium waarmee opbrengstderving kan worden gekwantificeerd, bestaande uit twee hoofdcomponenten: modelinstrumentarium waarmee maatwerkberoeeningen kunnen worden gedaan en de WWL-tabel.
WWL-tabel	Database met metarelaties op basis van een groot aantal voorberekende opbrengstdervingen: langjarig gemiddelde en specifieke jaren.
Maatwerk(berekening)	Mogelijkheid om met SWAP-WOFOST een specifieke situatie door te rekenen.
Modelinstrumentarium	Modelinstrumentarium, bestaande uit een koppeling van modellen SWAP en WOFOST, waarmee opbrengstdervingen in relatie tot waterhuishouding kunnen worden gekwantificeerd.
SWAP	SWAP (Soil Water Atmosphere Plant) simuleert transport van water, opgeloste stoffen en warmte in de onverzadigde en verzadigde zone, inclusief wateropname door het gewas.
WOFOST	WOFOST (World Food Studies) is een dynamisch gewasgroeimodel.



FIGUUR 2.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN WATERWIJZER LANDBOUW, BESTAANDE UIT TWEE COMPONENTEN VOOR DE GEBRUIKER OM OPBRENGSTDERIVING TE BEPALEN: DE WWL-TABEL EN MAATWERK MET HET MODELINSTRUMENTARIUM SWAP-WOFOST



In deze pilotstudie zal eenmalig de nieuw berekende droogte- en natschades worden vergeleken met opbrengstderivingen berekend met de methodiek van de HELP-tabel (zoals berekend met AGRICOM; van Bakel et al., 2009; Mulder en Veldhuizen, 2014; HELP-Tabel, 1987; van Bakel et al., 2005; 2007). Deze vergelijking kan alleen kwalitatief plaatsvinden en kan het beste plaatsvinden daar waar sprake is van verandering in opbrengstderiving als gevolg van een maatregel (daarvoor zijn destijds de HELP-tabellen afgeleid). De vergelijking is kwalitatief omdat in Waterwijzer Landbouw (in deze studie: SWAP-WOFOST) tot nu toe alleen de directe schade wordt vastgesteld, terwijl in de HELP-tabel directe + indirecte schade wordt gegeven. Indirecte schade is bijvoorbeeld opbrengstderiving door slechte bewerkbaarheid van de bodem (inclusief oogst), koude grond, structuurbederf, en dergelijke. In de toekomst zal Waterwijzer Landbouw worden uitgebreid zodat ook dan indirecte schade kan worden meegenomen.

Bij de berekeningen met toekomstig klimaat worden de gewaseigenschappen gelijk verondersteld aan die van het huidige klimaat.

## 3

## PILOTGEBIEDEN DE RAAM EN DE VECHT

De Raam en de Vecht zijn twee stroomgebieden in, respectievelijk, Noord-Brabant en Overijssel (Figuur 3.1). Om met Waterwijzer Landbouw voor een gebied te kunnen rekenen zijn de volgende gegevens als basis nodig: de bodemfysische eenheden kaart (BOFEK2012<sup>2</sup>; Wösten et al., 2013), de landgebruikskaart (LGN5; Hazeu, 2005), en grondwaterstands-informatie (GxG, of eventueel grondwaterstandsmomenten). In de volgende secties worden deze kort beschreven voor beide pilotgebieden.

FIGUUR 3.1 SITUERING VAN PILOTGEBIEDEN DE RAAM (GROEN) EN DE VECHT (PAARS) IN NEDERLAND. VOOR PILOTGEBIED DE VECHT ZAL VOORNAMELIJK WORDEN INGEZOOMD OP DEELGEBIED STEGEREN (LICHTGROEN)

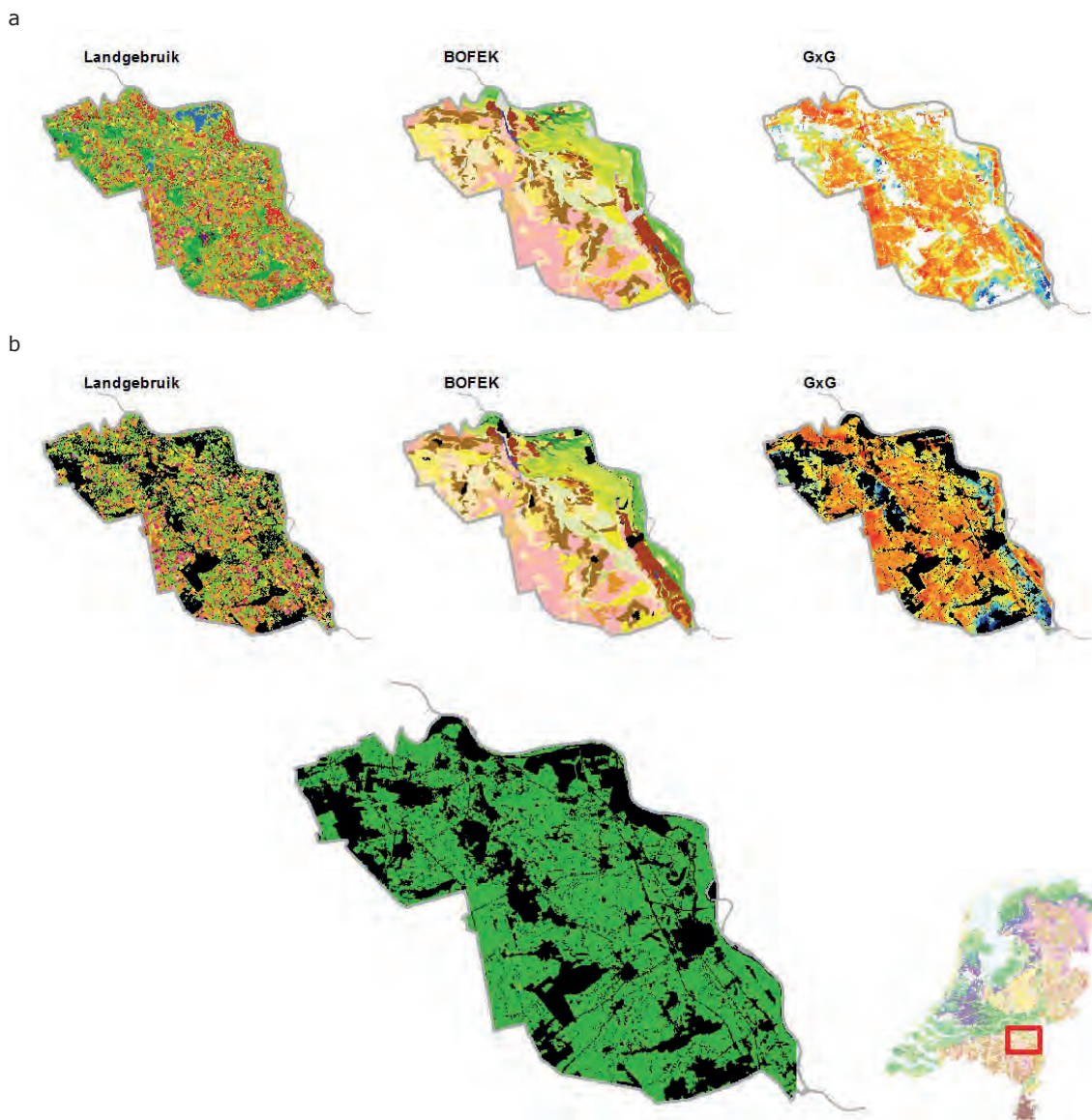


2 BOFEK2012 vervangt daarmee de verouderde PAWN schematisatie

### 3.1 DE RAAM

Als basisinvoer is gebruik gemaakt van LGN5, BOFEK2012 en de GxG (de laatste is aangeleverd door waterschap Aa en Maas). Deze kaarten zijn over elkaar heen gelegd en de gebieden met natuur, stedelijk gebied en eventueel oppervlaktewater zijn buiten beschouwing gelaten. Op deze manier is vastgesteld voor welk deel van het pilotgebied Waterwijzer Landbouw een uitspraak kan doen (Figuur 3.2). Bij de toepassing van Waterwijzer Landbouw zijn simulaties uitgevoerd voor gras en voor maïs. Voor beide gewassen is steeds verondersteld dat op het beschouwde landbouwareaal in het gebied of alleen gras of alleen maïs wordt geteeld. De opgeleverde informatie (kaarten) zijn daarmee dan ook een vorm van geschiktheidskaarten voor de teelt van gras of maïs in de pilotgebieden. Aanvullend zijn voor dit studiegebied maatwerkberekeningen uitgevoerd met de onderliggende modellen SWAP-WOFOST waarbij aandacht wordt besteed aan onder meer de extreem natte periode medio 2016.

FIGUUR 3.2 PILOTGEBIED DE RAAM IN HET OOSTEN VAN BRABANT GRENZEND AAN DE MAAS GEKARAKTERISEERD DOOR A) LANDGEBRUIK, BOFEK2012 EN GXG, EN B) BEGRENZING TOEPASSING WATERWIJZER LANDBOUW DOOR WEGLATEN VAN HET AREAAL NATUUR, BEBOUWING EN OPEN WATER (ALLEN ZWART AANGEGEVEN).



In het gebied de Raam komen 33 van de 72 BOFEK-eenheden voor. Tabel 3.1 geeft een beschrijving en de absolute en relatieve oppervlaktes per aanwezige BOFEK2012 bouwstenen. De dominante grondsoort is zand: 78% van het totale areaal.

TABEL 3.1 OMSCHRIJVING (WÖSTEN ET AL., 2013) EN AREAAL (ABSOLUUT EN RELATIEF) PER AANWEZIG BOFEK2012 EENHEID IN STROOMGEBIED DE RAAM

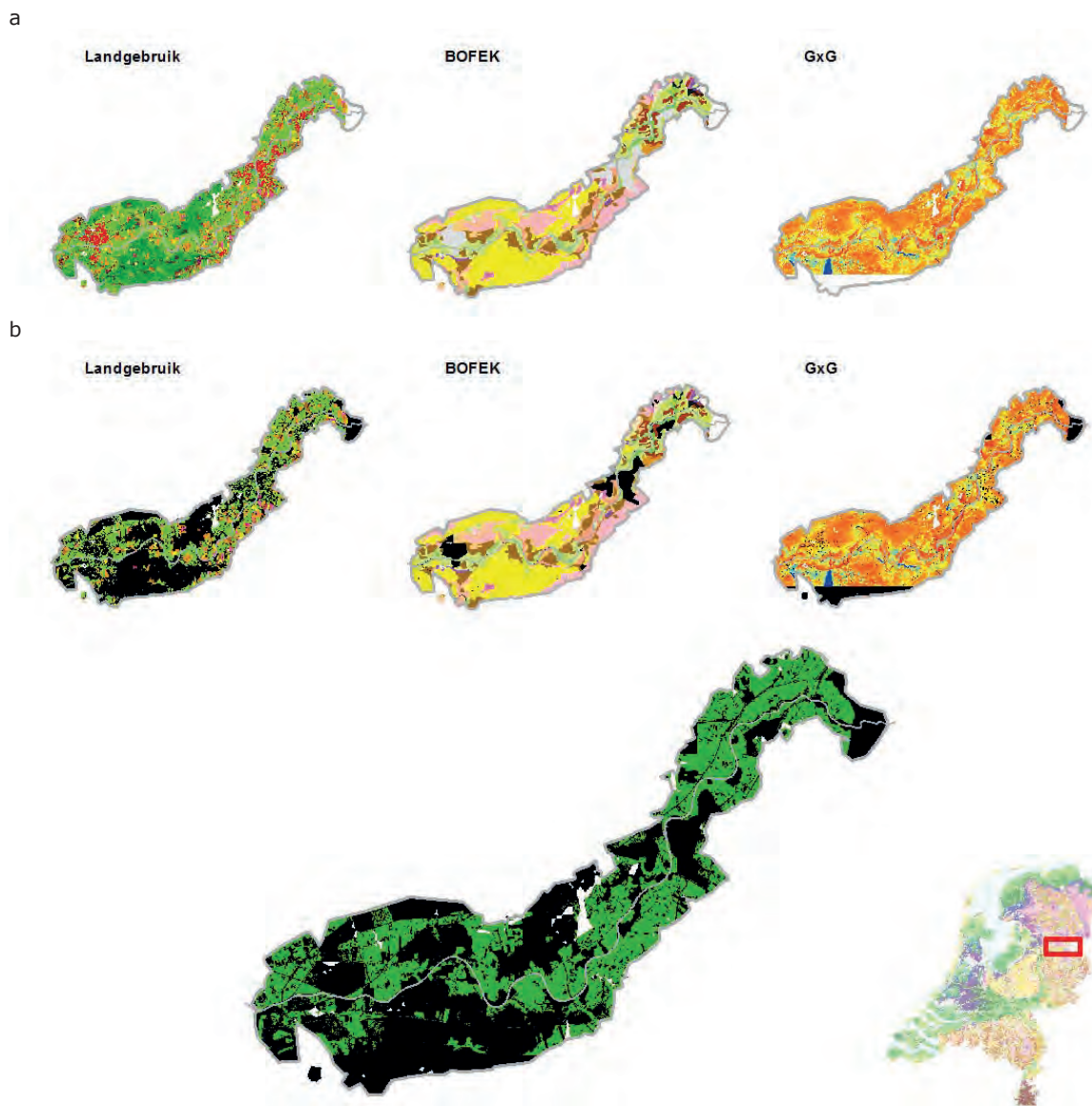
BOFEK2012 eenheid	Areaal (m <sup>2</sup> )	Areaal (%)	Omschrijving
<b>Veengronden</b>			
101	307298	0.073	Kleiig moerige bovengrond of kleidek op eutroof veen tot tenminste 120 cm-mv.
105	88716	0.021	Kleiig moerige bovengrond of kleidek op oligotroof veen veelal tot dieper dan 120 cm-mv.
109	269432	0.064	Zanddek of veenkoloniaal dek op mesotroof veen en een zandondergrond binnen 120 cm-mv.
<b>Moerige gronden</b>			
201	133029	0.031	Kleiig veen op zavel- en kleiondergrond
202	928233	0.220	Zavel- en kleidek op moerige tussenlaag op zandondergrond
203	1039408	0.246	Kleiarm veen op zandondergrond
205	1104999	0.261	Zanddek op moerige tussenlaag op zandondergrond
<b>Zandgronden</b>			
301	3917306	0.927	Leemarme (podzol-)gronden
302	22243983	5.264	Leemarme (stuif-)zandgronden
303	2853331	0.675	Leemarme tot zwak lemige zandgronden met een kleidek
304	74951284	17.736	Zwak lemige (podzol-)gronden
305	51357623	12.153	Zwak lemige zandgronden met grof zand in de ondergrond
307	2477717	0.586	Zwak lemige zandgronden met een kleidek
309	26264768	6.215	Zwak lemige (beekeerd-)gronden deels met grof zand in de ondergrond
310	31645542	7.488	Zwak lemige zandgronden met een matig dik cultuurdek
311	43046201	10.186	Zwak lemige zandgronden met een dik cultuurdek (enkeerdgronden)
312	10355381	2.450	Lemige (podzol-)gronden
313	3624491	0.858	Lemige (beekeerd-)gronden
314	708435	0.168	Lemige zandgronden met leem in de ondergrond
317	20098422	4.756	Lemige zandgronden met een dik cultuurdek (enkeerdgronden)
318	1344830	0.318	Lemige zandgronden met een dik cultuurdek (enkeerdgronden) en leem in de ondergrond
320	28574790	6.762	Grof zandige (podzol-)gronden
321	1809728	0.428	Grof zandige gronden met een kleidek
322	5520939	1.306	Grof zandige gronden met een dik cultuurdek (enkeerdgronden)
<b>Kleigronden</b>			
408	19854923	4.698	Lichte zavel op zand (marien en fluviatiel)
409	15431570	3.652	Lichte zavel op zand (fluviatiel)
410	2636624	0.624	Zware zavel op zand (marien en fluviatiel)
411	8637609	2.044	Zware zavel en lichte klei op zand (fluviatiel)
414	3298532	0.781	Zavel en lichte klei met zware tussenlaag
416	2347618	0.556	Lichte zavel homogeen profiel (marien en fluviatiel)
418	13790489	3.263	Zware zavel homogeen profiel (marien en fluviatiel)
419	6019852	1.425	Zware zavel homogeen profiel (vooral fluviatiel)
422	1769772	0.419	Zware klei (fluviatiel, komgronden) Leemgronden
<b>Overig</b>			
998	4450141	1.053	Water
999	9688267	2.293	Bebouwing
Totaal	422591283		

### 3.2 DE VECHT

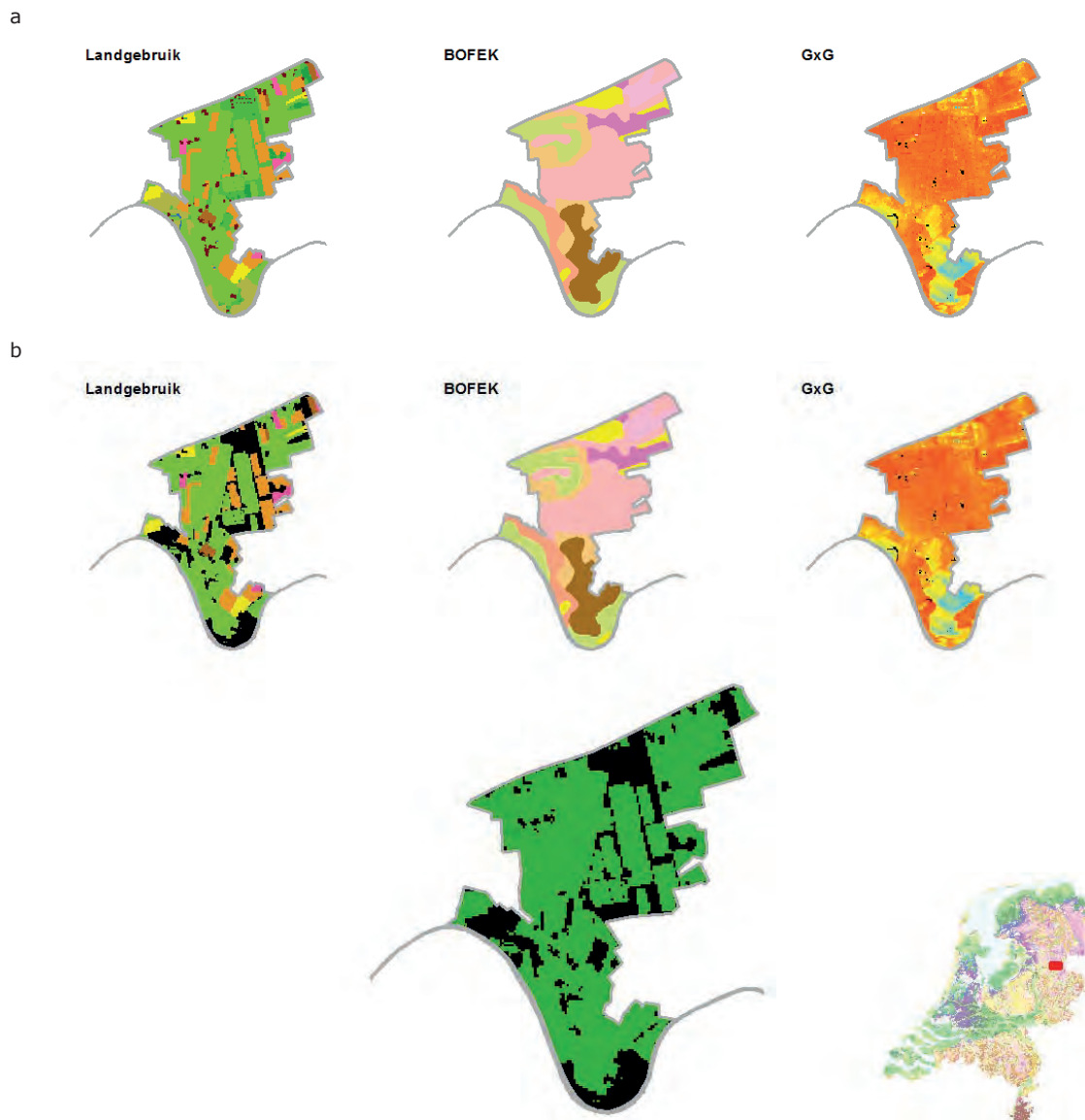
Als basis is gekozen een gebied rondom de Vecht vanaf iets te Westen van Ommen tot aan de Nederlands-Duitse grens (iets ten zuiden van Coevorden). Bij de bespreking van de resultaten zal worden ingezoomd op deelgebied Stegeren (Figuur 3.1). Bij de toepassing van Waterwijzer Landbouw zijn simulaties uitgevoerd voor gras en voor maïs. Voor beide gewassen is steeds verondersteld dat op het beschouwde landbouwareaal in het gebied steeds of alleen gras of alleen maïs wordt geteeld. De opgeleverde informatie (kaarten) zijn daarmee dan ook een vorm van geschiktheidskaarten voor de teelt van gras of maïs in de pilotgebieden.

Als basisinvoer is gebruik gemaakt van LGN5, BOFEK2012 en de GxG (de laatste is aangeleverd door waterschap Vechtstromen). Deze kaarten zijn over elkaar heen gelegd en de gebieden met natuur, stedelijk gebied en eventueel oppervlaktewater zijn buiten beschouwing gelaten. Op deze manier is vastgesteld voor welk deel van het pilotgebied Waterwijzer Landbouw een uitspraak kan doen (Figuur 3.3; Figuur 3.4).

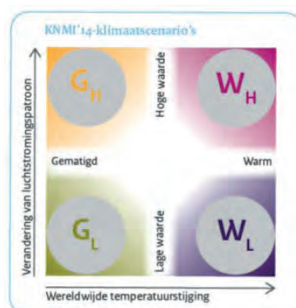
FIGUUR 3.3 PILOTGEBIED DE VECHT GEKARAKTERISEERD DOOR A) LANDGEBRUIK, BOFEK2012 EN GxG, EN B) BEGRENZING TOEPASSING WATERWIJZER LANDBOUW DOOR WEGLATEN VAN HET AREAAL NATUUR, BEBOUWING EN OPEN WATER (ALLEN ZWART AANGEGEVEN)



FIGUUR 3.4 PILOTGEBIED STEGEREN GEKARAKTERISEERD DOOR A) LANDGEBRUIK, BOFEK2012 EN GXG, EN B) BEGRENZING TOEPASSING WATERWIJZER LANDBOUW DOOR WEGLATEN VAN HET AREAAL NATUUR, BEBOUWING EN OPEN WATER (ALLEN ZWART AANGEGEVEN)



In het gebied de Vecht komen 22 van de 72 BOFEK-eenheden voor. Tabel 32 geeft een beschrijving en de absolute en relatieve oppervlaktes per aanwezige BOFEK2012 bouwstenen. De dominante grondsoort is zand: 83% van het totale areaal.



Voor GxG zijn twee varianten aangeleverd: één voor de huidige situatie, en één voor een situatie na doorvoering van een inrichtingsmaatregel (herinrichting van de Vecht inclusief peil aanpassing; scenario 11; Waterschap Vechtstromen, 2017). Op deze manier kan worden nagegaan wat het effect van het doorvoeren van deze maatregel tot gevolg heeft voor de berekende directe schade. Tevens zal voor dit pilotgebied aandacht besteed worden aan het effect van veranderend klimaat door een berekening met klimaatscenario W<sub>H</sub> (KNMI, 2014) te vergelijken met de uitkomsten van de huidige situatie.

TABEL 3.2 OMSCHRIJVING (WÖSTEN ET AL., 2013) EN AREAAL (ABSOLUUT EN RELATIEF) PER AANWEZIG BOFEK2012 EENHEID IN STROOMGEBIED DE VECHT

BOFEK2012 eenheid	Areaal (m <sup>2</sup> )	Areaal (%)	Omschrijving
<b>Veengronden</b>			
101	244370.6	0.20	Kleilig moerige bovengrond of kleidek op eutroof veen tot tenminste 120 cm-mv
102	57024.6	0.05	Kleilig moerige bovengrond of kleidek op veen en zandondergrond binnen 120 cm-mv
103	699652.3	0.57	Kleiarme moerige bovengrond op veen met binnen 120 cm-mv vaak een zandondergrond
<b>Moerige gronden</b>			
202	131780.9	0.11	Zavel- en kleidek op moerige tussenlaag op zandondergrond
203	2616474.8	2.12	Kleiarm veen op zandondergrond
205	1780735.6	1.45	Zanddek op moerige tussenlaag op zandondergrond
<b>Zandgronden</b>			
301	1058486.1	0.86	Leemarme (podzol-)gronden
302	35944955.1	29.18	Leemarme (stuif-)zandgronden
304	14513026.6	11.78	Zwak lemige (podzol-)gronden
305	693014.4	0.56	Zwak lemige zandgronden met grof zand in de ondergrond
307	5307450.7	4.31	Zwak lemige zandgronden met een kleidek
309	598525.5	0.49	Zwak lemige (beekeerd-)gronden deels met grof zand in de ondergrond
310	6709354.3	5.45	Zwak lemige zandgronden met een matig dik cultuurdek
311	13385460.3	10.87	Zwak lemige zandgronden met een dik cultuurdek (enkeerdgronden)
312	1205841.7	0.98	Lemige (podzol-)gronden
313	16741039.8	13.59	Lemige (beekeerd-)gronden
316	2371822.6	1.93	Lemige zandgronden met een kleidek
317	3517969.5	2.86	Lemige zandgronden met een dik cultuurdek (enkeerdgronden)
320	224140.7	0.18	Grof zandige (podzol-)gronden
<b>Kleigronden</b>			
404	579939.3	0.47	Klei op veen (fluviaal)
410	2793774.2	2.27	Zware zavel op zand (marien en fluviaal)
418	1378035.6	1.12	Zware zavel homogeen profiel (marien en fluviaal)
<b>Overig</b>			
998	1714282.8	1.39	Water
999	8899199.4	7.23	Bebouwing
Totaal	123166357.5		

## 4

## RESULTATEN

Met Waterwijzer Landbouw kan opbrengstderving op verschillende manieren worden berekend c.q. bestudeerd. Deze zijn ter illustratie voor beide pilotgebieden uitgevoerd zoals aangegeven in Tabel 4.1. In deze studie is ook aandacht besteed aan de mogelijkheid om de grondwaterstandsinformatie niet als GxG op te geven, maar als grondwaterstandsmomenten, waarbij de grondwaterstandsdynamiek is samengevat als een gemiddelde, standaardafwijking en scheefheid (zie nadere toelichting in Sectie 4.1.4.2).

TABEL 4.1 OMSCHRIJVING UITGEVOERDE TOEPASSINGEN WATERWIJZER LANDBOUW VOOR PILOTGEBIEDEN DE RAAM EN DE VECHT

Opbrengstderving	de Raam	de Vecht, Stegeren
Langjarige gemiddelde opbrengstderving (totaal, droog, nat)	X	X
Opbrengstderving voor specifieke jaren	X	-
Maatwerkberekeningen opbrengstderving met behulp van SWAP-WOFOST	X	-
Effect inrichtingsmaatregel t.o.v. huidig (inclusief vergelijking met de HELP-tabel)	-	X
Effect klimaatscenario t.o.v. huidig	-	X

## 4.1 DE RAAM

## 4.1.1 LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING

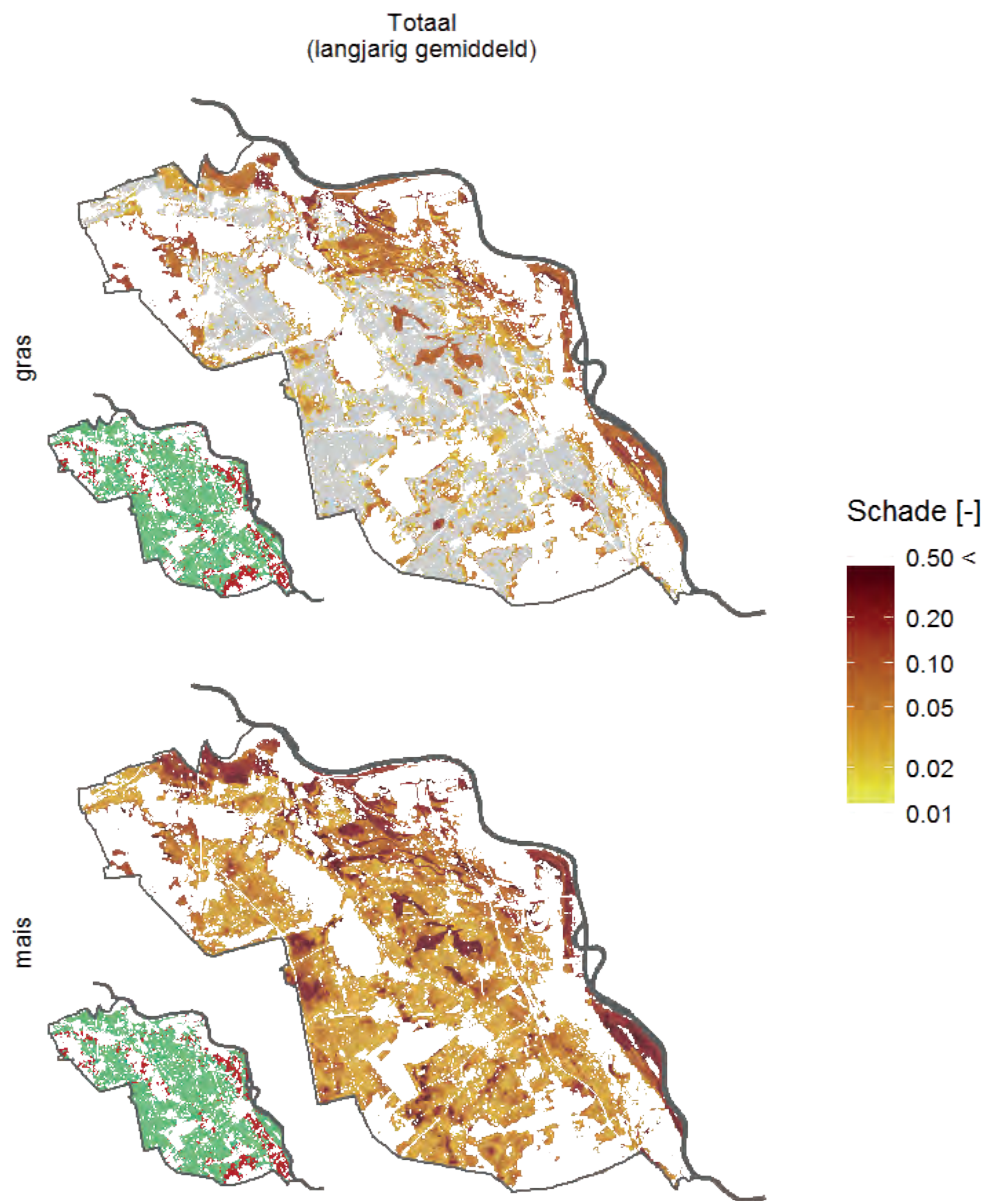
De langjarig gemiddelde directe schade zoals berekend met Waterwijzer Landbouw voor gras dan wel voor mais is gegeven in Figuur 4.1. Duidelijk is te zien dat voor mais meer opbrengstderving wordt berekend dan voor gras. Uitsplitsing over nat- en droogteschade (Figuur 4.2) laat duidelijk zien voor mais de totale opbrengstderving vooral door natschade wordt bepaald. De opbrengstderving van gras die wordt voorspeld is daarentegen voor een groot deel te wijten aan droogteschade.

In Figuur 3.2 was reeds aangegeven welk deel van het pilotgebied daadwerkelijk doorgerekend kan worden met Waterwijzer Landbouw. Dit deel is in Figuur 4.1 opnieuw als in-set aangegeven. Nu is achteraf gebleken dat niet alle GxG combinaties ook daadwerkelijk in de doorgerekende situaties van Waterwijzer Landbouw voorkomen. Deze gebieden zijn in de in-sets in Figuur 4.1 aangegeven met de kleur rood. Het betreft hier voornamelijk de diepe maar deels ook ondiepe GxG combinaties (zie ook Figuur 3.2). Voor deze situaties kan achteraf natuurlijk wel een maatwerkberekening worden uitgevoerd (hier niet gedaan).

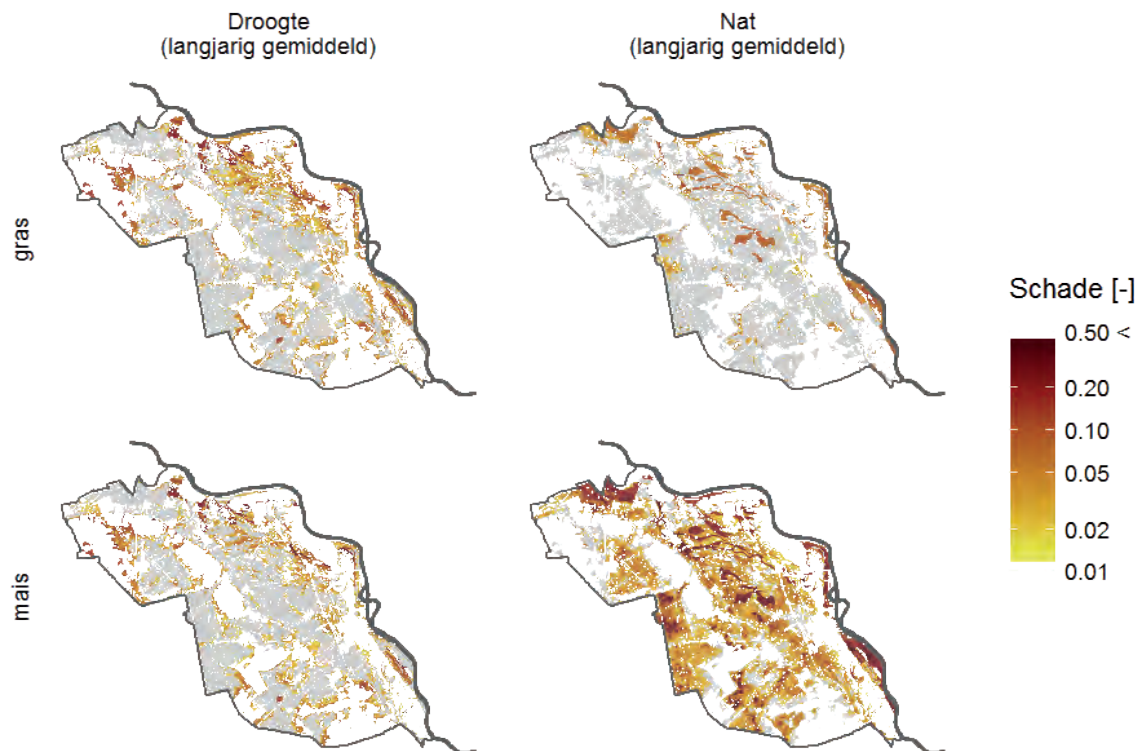


FIGUUR 4.1

LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING VOOR GRAS (BOVEN) EN MAIS (ONDER) VOOR PILOTGEBIED DE RAAM ZOALS BEREKEND MET WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL). DE OPBRENGSTDERIVING (ZIE LEGENDA; GRIJS BETEKENT GEEN OPBRENGSTDERIVING) IS GEGEVEN ALS FRACTIE (LET OP: LOGARITMISCHE SCHAAL). DE IN-SETS GEVEN HET GEBIED WEER WAAROVER IN PRINCIPE ALLEEN MAAR UITSPRAKEN GEDAAN KUNNEN WORDEN (CF. FIGUUR 3.2), WAARBIJ DE RODE VLAKKEN DELEN ZIJN WAARVOOR WATERWIJZER LANDBOUW ACHTERAF GEZIEN GEEN UITSPRAKEN KAN DOEN



FIGUUR 4.2 LANGJARIG GEMIDDELTE OPBRENGSTDERIVING VOOR GRAS (BOVEN) EN MAIS (ONDER) VOOR PILOTGEBIED DE RAAM ZOALS BEREKEND MET WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL) UITGESPLITST OVER DROOGTE- (LINKS) EN NATSCHADE (RECHTS). ZIE VERDER FIGUUR 4.1

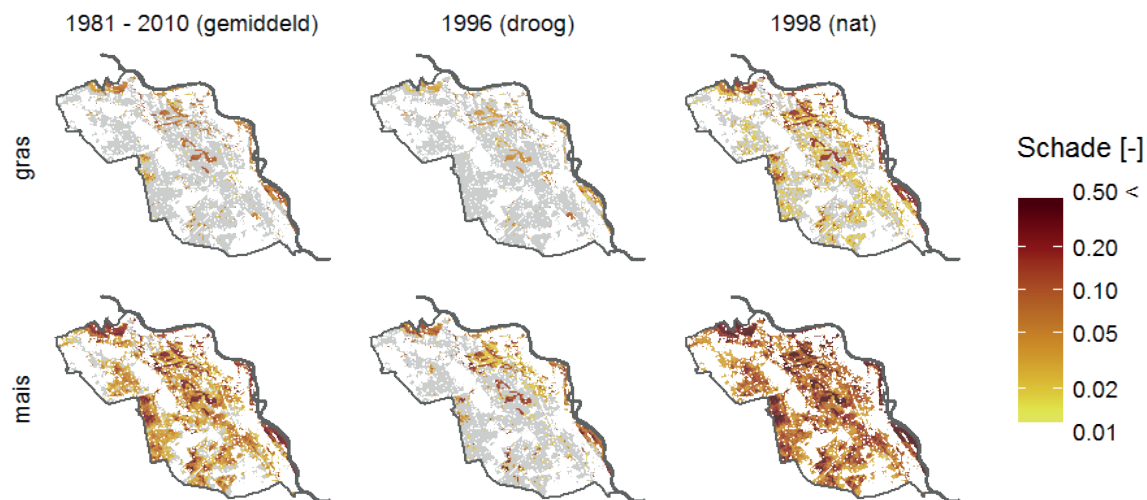


#### 4.1.2 OPBRENGSTDERIVINGEN VOOR SPECIFIEKE JAREN

Waterwijzer Landbouw (WWL-tabel) is gebaseerd op het klimaat voor de periode 1981-2010. Voor deze periode is het mogelijk om naast de langjarig gemiddelde opbrengstderivingen ook de opbrengstderiving voor specifieke jaren op te vragen. Zo kan men kijken wat de opbrengstderiving is voor een bekend nat of een bekend droog jaar. Hier is ter illustratie de opbrengstderiving gegeven voor 1996 en 1998, respectievelijk het droogste en het natste kalenderjaar in genoemde periode (Figuur 4.3). Voor gras was eerder al vastgesteld dat de langjarige opbrengstderiving vooral door droogte wordt bepaald. Het patroon voor een specifiek droog jaar lijkt dan ook heel sterk op die van het langjarige gemiddelde. Voor een nat jaar wordt voor gras meer opbrengstderiving berekend. Voor mais was eerder al vastgesteld dat de langjarige opbrengstderiving vooral door natschade wordt bepaald. Het patroon voor een specifiek nat jaar lijkt dan ook heel sterk op die van het langjarige gemiddelde. Voor een droog jaar wordt voor mais aanzienlijk minder opbrengstderiving berekend.

Een dergelijke toepassing kan nog verder worden verfijnd/aangepast door uit te gaan van een x% droog of x% nat jaar, waarbij dan ook nog onderscheid gemaakt kan worden in droog en nat voor het hele jaar of voor het groeiseizoen. Dit is hier niet nader uitgewerkt.

FIGUUR 4.3 LANGJARIG GEMIDDELTE OPBRENGSTDERVING (LINKER KOLOM), OPBRENGSTDERVING IN 1996 (DROOG JAAR; MIDDELSTE KOLOM), EN OPBRENGSTDERVING IN 1998 (NAT JAAR; RECHTER KOLOM) VOOR GRAS (BOVEN) EN MAIS (ONDER) VOOR PILOTGEBIED DE RAAM ZOALS BEREKEND MET WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL). ZIE VERDER FIGUUR 4.1



#### 4.1.3 OVERZICHT OPBRENGSTDERVINGEN

De gerapporteerde opbrengstderivingen zijn in Tabel 4.2 samengevat door voor de diverse situaties de gemiddelde opbrengstderivingen te geven, inclusief enkele percentielwaarden.

TABEL 4.2 OVERZICHT VAN GEMIDDELTE OPBRENGSTDERVINGEN VOOR GRAS EN MAIS IN PILOTGEBIED DE RAAM ZOALS BEREKEND MET WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL): LANGJARIG TOTAAL, DROOG EN NAT, EN OPBRENGSTDERVING VOOR EEN SPECIFIEK DROOG (1996) EN SPECIFIEK NAT (1998) JAAR. TEVENS ZIJN DE 5%, 25%, 50%, 75% EN 95% PERCENTIELWAARDEN VAN DE VERDELING BINNEN HET GEBIED GEGEVEN

	Gemiddeld	5%	25%	50%	75%	95%
<b>Gras</b>						
Totaal, langjarig	4.5	0	1	1	7	16
- droog	2.9	0	0	0	4	14
- nat	1.5	0	0	0	1	9
Totaal, 1996	7.2	0	0	1	9	37
Totaal, 1998	4.5	1	1	2	3	20
<b>Mais</b>						
Totaal, langjarig	9.9	3	4	6	11	32
- droog	2.6	0	0	0	3	13
- nat	7.3	0	2	4	8	29
Totaal, 1996	4.1	1	1	1	2	20
Totaal, 1998	16.1	3	5	10	19	54

#### 4.1.4 MAATWERKBEREKENINGEN MET SWAP-WOFOST

De WWL-tabel binnen Waterwijzer Landbouw is bedoeld om op nationale en regionale schaal inzicht te geven in langjarige gemiddelde opbrengstderivingen als gevolg van droogte-, natschade of zoutschade. Dat betekent dat de uitkomsten van de WWL-tabel niet voor specifieke gebeurtenissen moeten worden toegepast. Het is mogelijk de WWL-tabel toe te passen op bijvoorbeeld perceelschaal, maar daarbij geldt altijd dat de invoergegevens ook op hetzelfde detailniveau beschikbaar moeten zijn. Indien detailinformatie voor specifieke gebeurtenissen of bodemopbouw op perceelschaal gewenst is, dan verdient het de aanbeveling om voor die locaties een aparte simulatie uit te voeren met de bron-modellen SWAP-WOFOST.

Voor het studiegebied de Raam zijn verkennende simulaties met SWAP-WOFOST uitgevoerd voor situaties die voorkomen in dat gebied. De volgende aspecten zijn onderscheiden:

- *Gewassen*: gras (diverse snedes), maïs (mei-september; braak overig).
- *Grondsoort*: zwak lemige zandgrond (BOFEK2012 eenheden 304, 305, 311); deze eenheden betreffen iets meer dan de helft van het areaal zandgrond in de Raam.
- *Ontwateringstoestand*: droog (diep grondwater: GHG = -1.4 m+mv, GLG = -1.9 m+mv), medium (GHG = -0.9 m+mv, GLG = -1.4 m+mv), nat (ondiep grondwater: GHG = -0.2 m+mv, GLG = -0.6 m+mv).
- *Klimaat*: 2005-2016 (weerstation Arcen; gerekend met dagwaarden en de duur van de neerslag).

Het specifieke aandachtspunt bij deze simulaties was het effect van extreme neerslag die in juni 2016 is opgetreden. Er is geen validatie uitgevoerd op basis van registraties in het veld.

Het valt buiten de doelstelling van deze rapportage om alle doorgerekende combinaties te bespreken. Over het algemeen waren de gesimuleerde uitkomsten conform de verwachting. Derhalve worden hieronder enkele illustratieve voorbeelden gegeven.

Het natte voorjaar van 2016 heeft geen noemenswaardig effect op gras voor BOFEK2012 eenheid 304 met diepgrondwater (Figuur 4.4), maar wel indien deze eenheid voorkomt bij ondiep grondwater (Figuur 4.5). Bij ondiep grondwater leidt deze natte periode tot langdurige situaties met grondwater tot in de wortelzone, hetgeen leidt tot natschade.

Hoewel BOFEK2012 eenheden 304, 305 en 311 allen tot de zwak lemige zandgronden behoren, kan het toch zo zijn dat de effecten van opbrengstderving toch iets anders zijn per grondsoort<sup>3</sup>. Dit is geïllustreerd in Figuur 4.6: BOFEK2012 eenheid 305 levert in sommige situaties met diep grondwater afwijkende (grotere) droogteschade. Maar ook binnen de BOFEK2012 eenheden zit variatie in de aanwezige bodemprofielen. Dit vormt geen onderdeel van Waterwijzer Landbouw; in Bijlage 1 is ter illustratie een beknopte analyse gegeven van het effect van verschillende bodemprofielen binnen een BOFEK2012 eenheid.

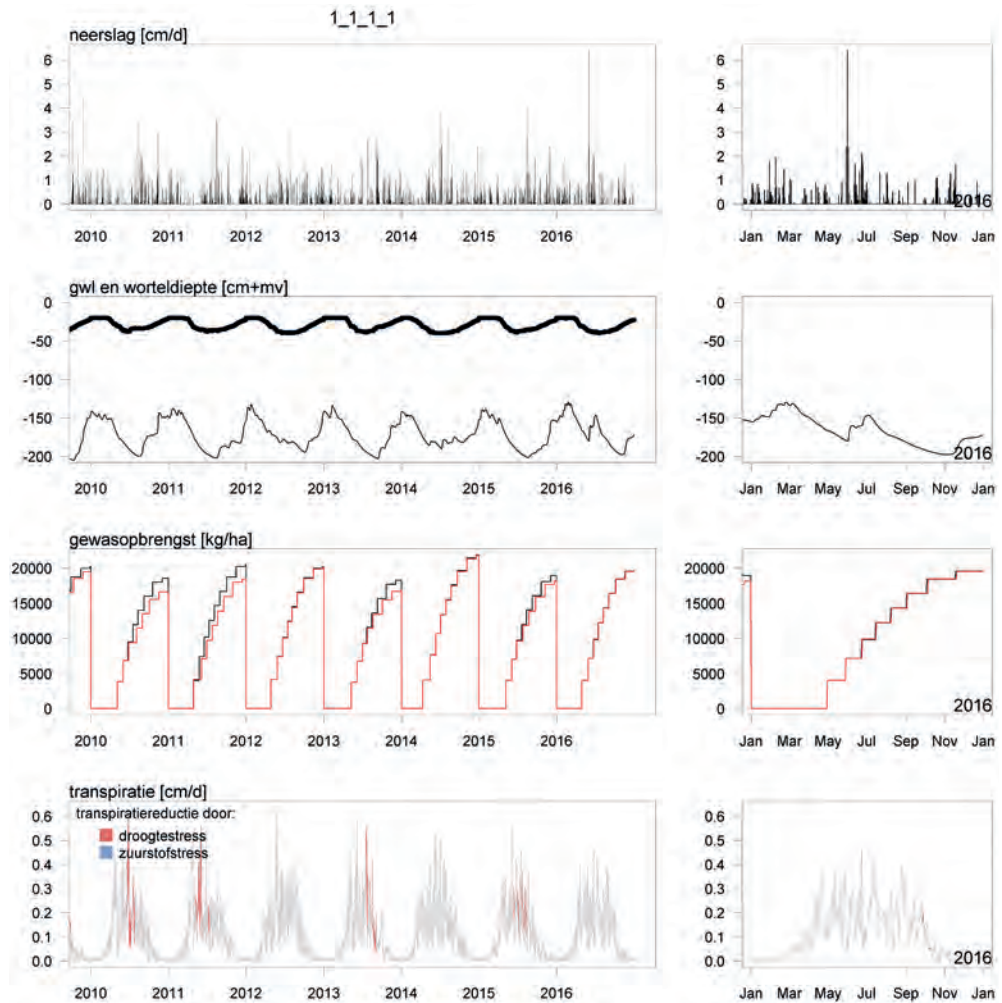
Voor maïs en diep grondwater wordt geen natschade berekend voor 2016 (Figuur 4.7). Omdat in de uitgevoerde maatwerkberekeningen de bewortelingsdiepte voor maïs groter is dan voor gras, is ook de berekende natschade voor de situatie met ondiep grondwater erg groot en dus groter dan bij gras (Figuur 4.8). Ook bij medium diepe grondwaterstanden wordt een duidelijke natschade in 2016 berekend (Figuur 4.9).

De maatwerkberekeningen laten ook droogte- en natschade zien in andere jaren, hier niet verder bediscussieerd.

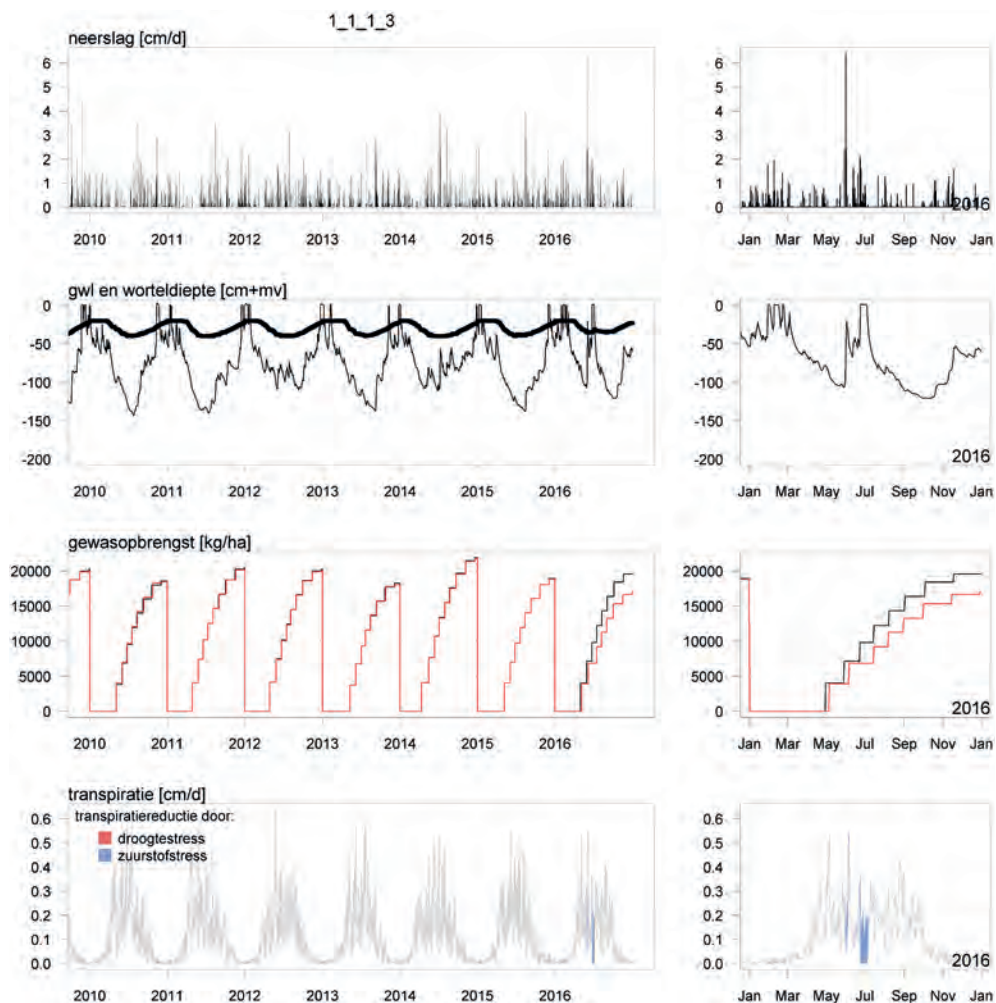
<sup>3</sup> Het is zelfs zo dat de specifieke bodemprofielen die tot 1 BOFEK2012 eenheid behoren onderling iets afwijkende resultaten vertonen. Dit is hier verder niet uitgewerkt.

FIGUUR 4.4

OVERZICHT RESULTATEN MAATWERKBEREKENINGEN VOOR PILOTGEBIED DE RAAM VOOR PERIODE 2010-2016: GRAS, BOFEK2012 EENHEID 304, DIEP GRONDWATER. DE VIER RIJEN GRAFIEKEN TONEN RESPECTIEVELIJK NEERSLAG, GRONDWATERSTAND (DUNNE LIJN) + BEWORTELINGSDIEPTE (DIKKE LIJN), GEWASOPBRENGST (ZWART: POTENTIEEL; ROOD: ACTUEEL), EN GEWASTRANSPIRATIE (DROOGTESCHADE IN ROOD, NATSCHADE IN BLAUW). DE RECHTERKOLOM TOONT DE RESULTATEN VOOR 2016

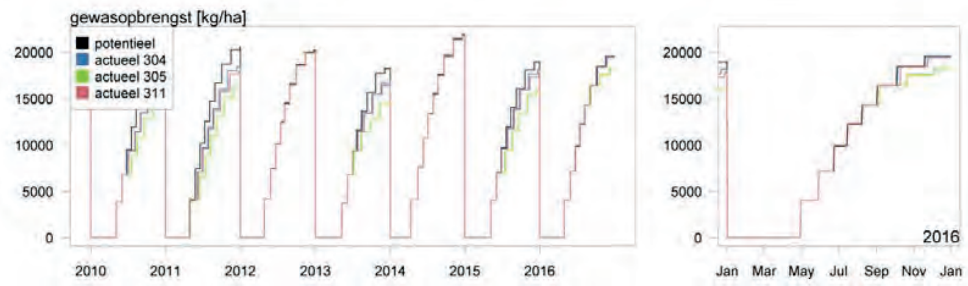


FIGUUR 4.5 OVERZICHT RESULTATEN MAATWERKBEREKENINGEN VOOR PILOTGEBIED DE RAAM VOOR PERIODE 2010-2016: GRAS, BOFEK2012 EENHEID 304, ONDIEP GRONDWATER. ZIE VERDERE UITLEG BIJ FIGUUR 4.4

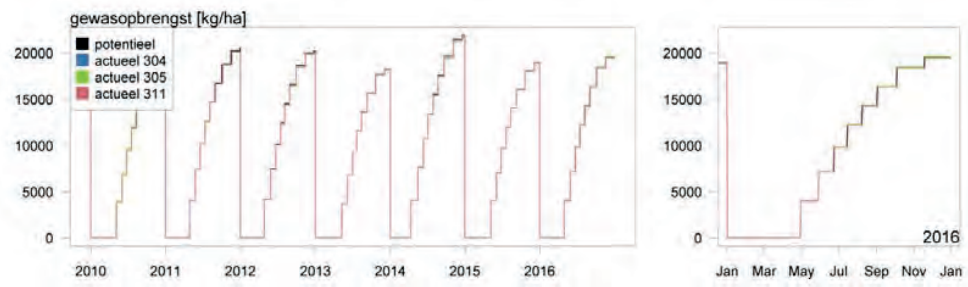


FIGUUR 4.6 OVERZICHT EFFECT BOFEK2012 EENHEID OP BEREKENDE GRASOPBRENGST VOOR DRIE DIEPTES GRONDWATER: A) DIEP, B) MEDIUM, C) ONDIEP

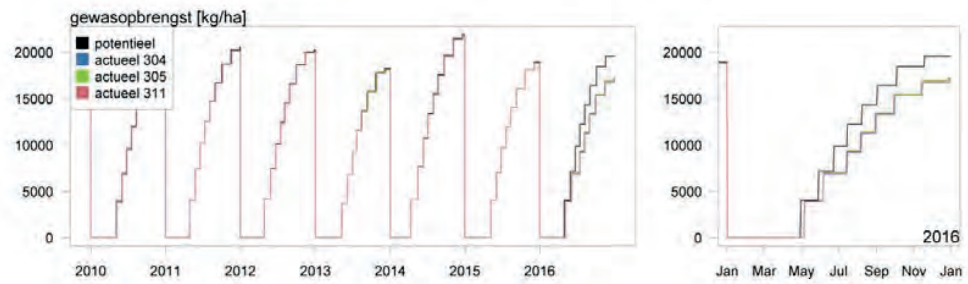
a



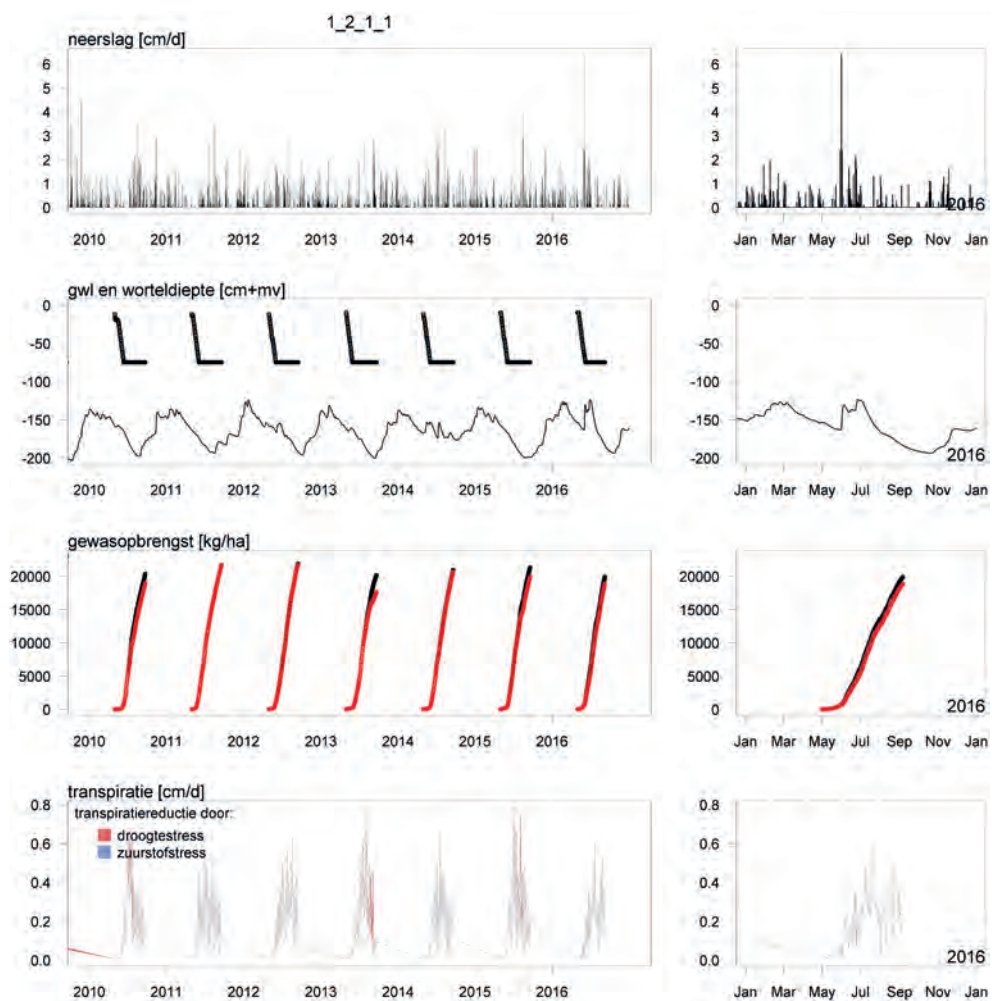
b



c

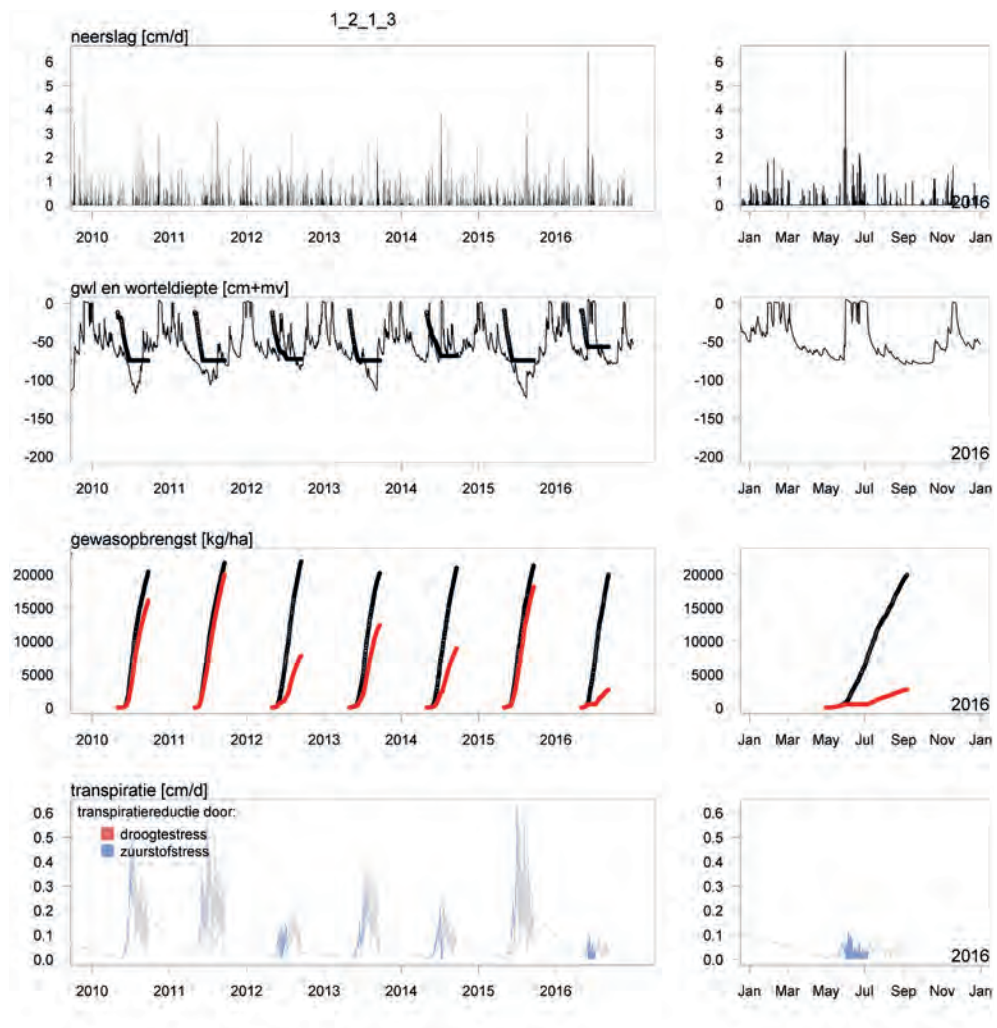


FIGUUR 4.7 OVERZICHT RESULTATEN MAATWERKBEREKENINGEN VOOR PILOTGEBIED DE RAAM VOOR PERIODE 2010-2016: MAIS, BOFEK2012 EENHEID 304, DIEP GRONDWATER. ZIE VERDERE UITLEG BIJ FIGUUR 4.4





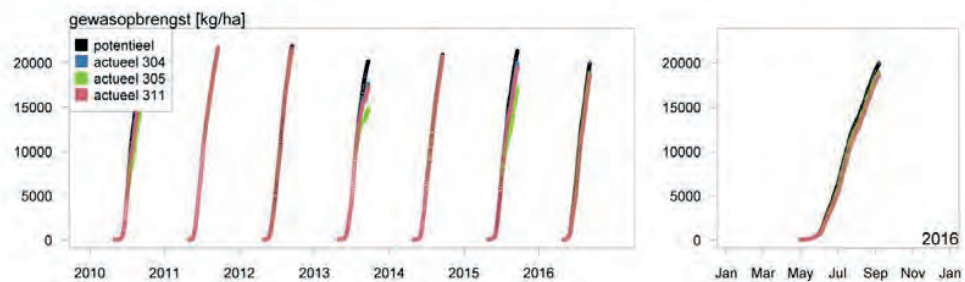
FIGUUR 4.8 OVERZICHT RESULTATEN MAATWERKBEREKENINGEN VOOR PILOTGEBIED DE RAAM VOOR PERIODE 2010-2016: MAIS, BOFEK2012 EENHEID 304, ONDIEP GRONDWATER. ZIE VERDERE UITLEG BIJ FIGUUR 4.4



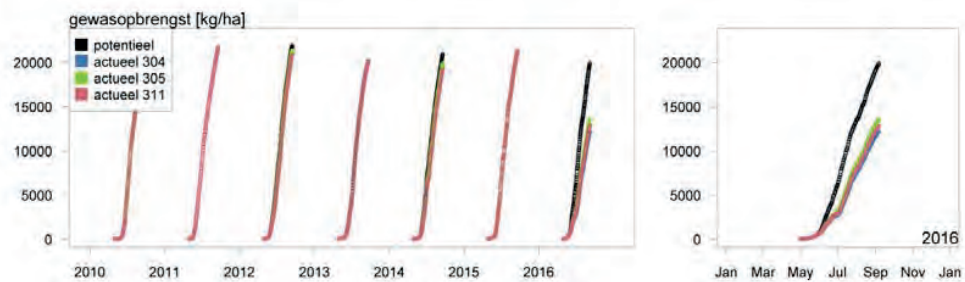
FIGUUR 4.9

OVERZICHT EFFECT BOFEK2012 EENHEID OP BEREKENDE MAISOPBRENGST VOOR DRIE DIEPTES GRONDWATER: A) DIEP, B) MEDIUM, C) ONDIEP

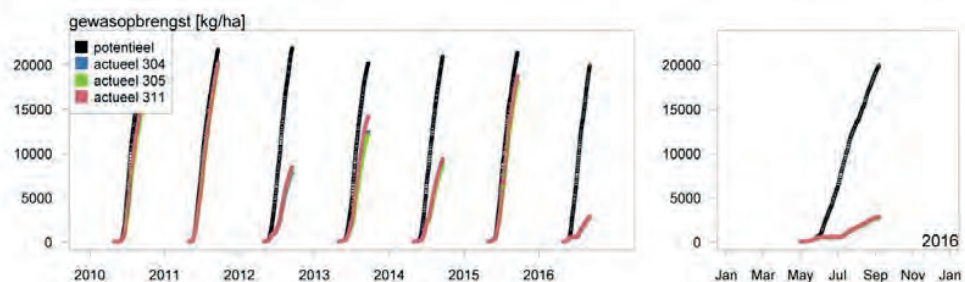
a



b



c



#### 4.1.4.1 AFHANKELIJKHEID OPBRENGST EN WORTELDIEPTE VAN GRONDWATERSTANDEN

De gewasopbrengst hangt sterk af van de grondwaterstand. Om meer inzicht te geven in deze afhankelijkheid, zijn SWAP-WOFOST simulaties uitgevoerd voor gras en mais op BOFEK-eenheid 304, zwak lemige (podzol-) gronden, voor 100 verschillende drainageniveaus en verschillende jaren (1995-2016) voor weerstation Arcen. Afhankelijk van de ontwateringsdiepte en het weer komen uit elk van deze 100 simulaties verschillende (gemiddelde) grondwaterstanden voort. Met de resultaten van deze simulaties kan inzichtelijk worden gemaakt hoe de gewasopbrengst samenhangt met grondwaterstandskarakteristieken, en hoe de relatie tussen grondwaterstandskarakteristiek en gewasopbrengst afhangt van de periode waarover deze bepaald wordt.

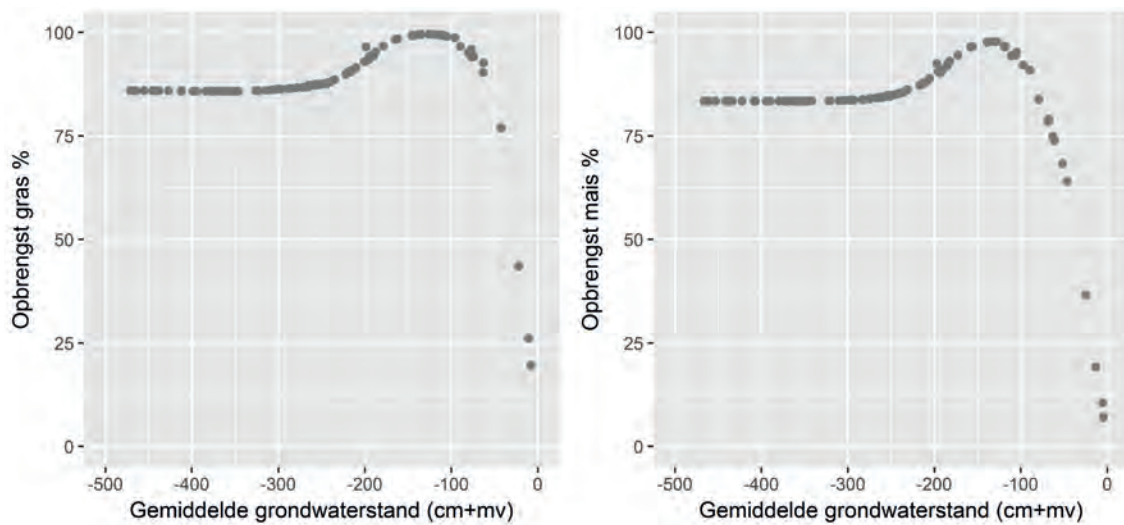
De gewasopbrengsten die hieronder genoemd worden, betreffen de relatieve opbrengsten als percentage van de potentiële opbrengst. De potentiële opbrengst hangt af van verschillende factoren, waaronder inkomende straling, en kan per jaar sterk verschillen. Wanneer de gemiddelde gewasopbrengsten en grondwaterstanden uit alle 100 SWAP-WOFOST simulaties over meerdere jaren tegen elkaar worden afgezet (Figuur 4.10), is een duidelijk optimum zichtbaar voor een gemiddelde grondwaterstand tussen ongeveer 1 en 1.5 meter beneden maaiveld (geldig voor deze specifieke situatie). Hierbij lijkt mais gevoeliger dan gras, omdat

de optimale opbrengst slechts behaald wordt voor een smalle range van gemiddelde grondwaterstanden. Het moet opgemerkt worden dat de vorm van de grafiek beïnvloed wordt door diverse factoren, zoals klimaat, bodemtype en overige parameters die de ontwatering beïnvloeden (naast ontwateringsniveau). De vorm van de grafiek zal echter vergelijkbaar zijn voor verschillende omstandigheden.

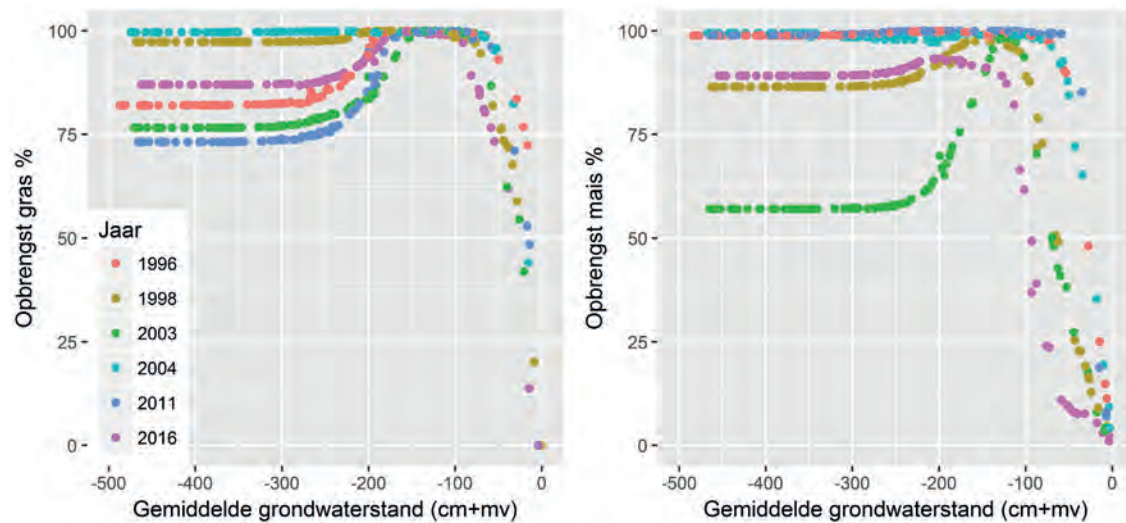
Bij diepere grondwaterstanden leiden verschillen in de gemiddelde grondwaterstand niet meer tot verschillen in opbrengst. De reden hiervoor is dat de grondwaterstand vanaf een bepaalde diepte (afhankelijk van het bodemtype) geen invloed meer heeft op de vochtvoorziening van de wortelzone. We spreken hier van grondwateronafhankelijke situaties.

Door de opbrengst als functie van de gemiddelde grondwaterstand (of een andere grondwaterkarakteristiek) te plotten, kunnen zogenaamde 'doelgaten' worden geformuleerd. Het doelgat is het verschil in grondwaterstand wat benodigd is om een optimale opbrengst te kunnen realiseren. Stel dat een perceel met gras een gemiddelde grondwaterstand van 250 cm-mv heeft dan heeft het volgens Figuur 4.10 een opbrengst van zo'n 88%. Om een zo hoog mogelijke opbrengst van bijna 100% te realiseren, is een grondwaterstand van minimaal 150 cm-mv nodig. Het doelgat is in dit geval dus +100 cm.

**FIGUUR 4.10** GEMIDDELDE OPBRENGST (ALS PERCENTAGE VAN DE POTENTIËLE OPBRENGST) VAN DE JAREN 1995-2016 ALS FUNCTIE VAN DE GEMIDDELDE GRONDWATERSTAND VAN GRAS (LINKS) EN MAIS (RECHTS) OP BOFEK BODEMTYPE 304. IEDER PUNT GEEFT DE GESIMULEERDE LANGJARIG GEMIDDELDE GRONDWATERSTAND EN GEWASOPBRENGST VAN ÉÉN VAN DE IN TOTAAL 100 SWAP-WOFST SIMULATIES VOOR 1995-2016



FIGUUR 4.11 OPBRENGST (ALS PERCENTAGE VAN DE POTENTIËLE OPBRENGST) ALS FUNCTIE VAN DE GEMIDDELTE GRONDWATERSTAND VAN ENKELE VERSCHILLENDE JAREN VOOR GRAS (LINKS) EN MAIS (RECHTS) OP BOFEK BODEMTYPE 304. IEDER PUNT GEEFT DE GESIMULEERDE GEMIDDELTE GRONDWATERSTAND EN GEWASOPBRENGST VAN EEN SPECIFIEK JAAR VAN ÉÉN VAN DE IN TOTAAL 100 SWAP-WOFOST SIMULATIES VOOR 1995-2016



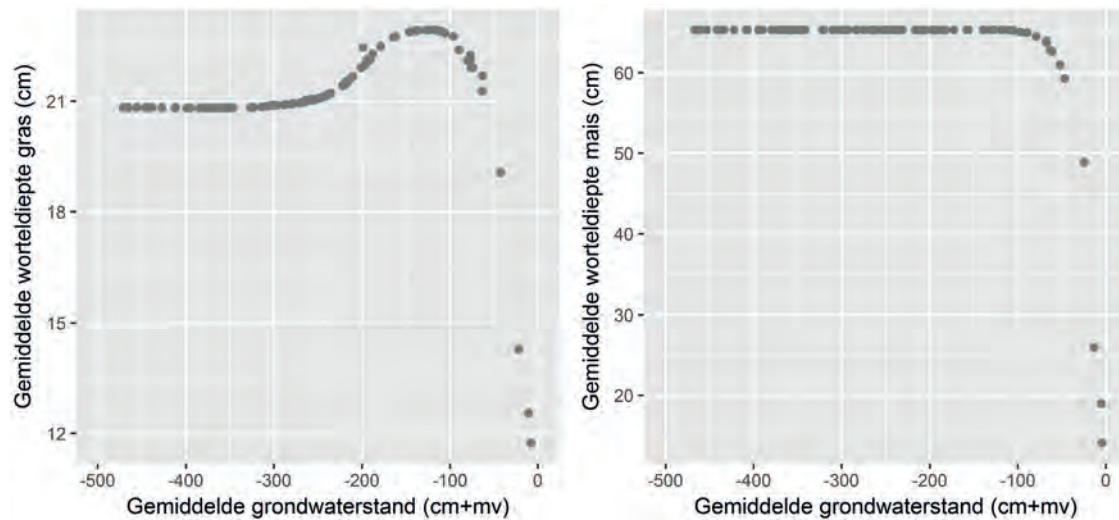
De relatie tussen grondwaterstand en gewasopbrengst kan echter sterk per jaar variëren. Figuur 4.11 illustreert dit door de opbrengsten als functie van gemiddelde grondwaterstand voor enkele verschillende jaren weer te geven. Voor gras is het optimum uit Figuur 4.10 nog wel zichtbaar, maar verschillen de opbrengstdervingen als gevolg van lage of hoge grondwaterstanden tussen verschillende jaren. Voor mais is dit effect sterker, en verschilt daarnaast ook de hoogte van de optimale grondwaterstand tussen de jaren. De oorzaak van deze variatie tussen de verschillende jaren is het weer. Hoewel het weer de grondwaterstanden wel beïnvloedt, kan het zijn dat tijdelijke fenomenen (die weinig invloed hebben op het gemiddelde, of die gecompenseerd worden in andere perioden) de opbrengst sterk beïnvloeden. In relatief natte jaren, zoals 1998, of jaren met extreme lokale neerslag zoals 2016, hebben locaties met hoge grondwaterstanden relatief veel opbrengstverlies, terwijl dit minder het geval is op plekken met een lagere grondwaterstand. In relatief droge jaren, zoals 2003, ondervinden locaties met lage grondwaterstanden juist meer opbrengstderving.

Opvallend bij deze effecten is dat ze afhangen van het gewas, maar ook van de timing van de perioden van veel neerslag of droogte. Zo was 2011 een relatief warm en droog jaar, waarbij graspercelen met diepe grondwaterstanden droogteschade ondervonden. Voor de maisopbrengst wijzen de simulaties echter niet op droogteschade. De verklaring hiervoor is dat de droogte vooral plaatsvond in het voorjaar, terwijl de zomer relatief koel en nat was. De jaaropbrengst van gras hangt af van meerdere snedes verspreid over het seizoen, waardoor de droogte in het voorjaar effect had op de opbrengst. Voor mais is echter de zomerperiode van groot belang. Doordat in de zomer weinig droogte was, is de opbrengstderving voor mais zeer gering.

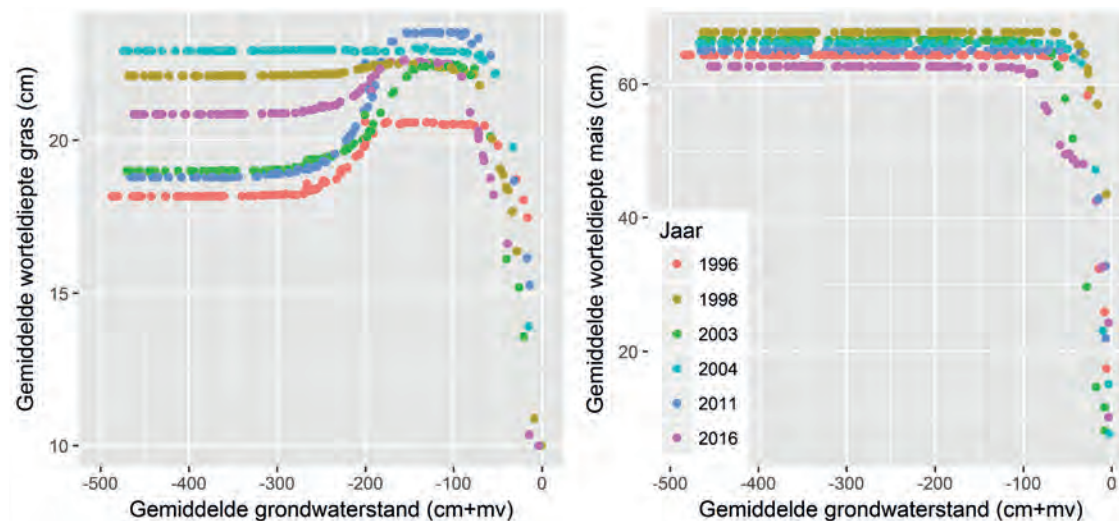
Ook de worteldiepte is afhankelijk van de gemiddelde grondwaterstand. Figuur 4.12 geeft de gesimuleerde gemiddelde worteldiepte als functie van de gesimuleerde gemiddelde grondwaterstand weer over de jaren 1995-2016. De grafieken voor de maximale worteldiepten vertonen hetzelfde patroon en zijn daarom niet weergegeven. Voor gras is een optimum zichtbaar, vergelijkbaar met die van de opbrengst uit Figuur 4.10. In SWAP-WOFOST hangt de wortelgroei van gras samen met de groei van bovengrondse biomassa, waardoor de opbrengst en de worteldiepte sterk gecorreleerd zijn. Voor mais wordt de worteldiepte alleen beïnvloed door

hoge grondwaterstanden. Bij lage grondwaterstanden (binnen de onderzochte range) blijft de gemiddelde worteldiepte gelijk. De reden dat in dit geval niet zo'n duidelijke correlatie met opbrengst te zien is, is omdat de opbrengst van mais wordt bepaald door de massa van de opslagorganen, die zich in een andere periode ontwikkelen dan het wortelstelsel.

FIGUUR 4.12 GEMIDDELDE WORTEL DIEPTEN ALS FUNCTIE VAN DE GEMIDDELDE GRONDWATERSTAND OVER DE JAREN 1995-2016 VOOR GRAS (LINKS) EN MAIS (RECHTS) OP BOFEK BODEMTYPE 304. DE POTENTIËLE MAXIMALE WORTEL DIEPTEN ZIJN 40 CM VOOR GRAS EN 75 CM VOOR MAIS. IEDER PUNT GEEFT DE GESIMULEERDE LANGJARIG GEMIDDELDE GRONDWATERSTAND EN WORTEL DIEPTTE VAN ÉÉN VAN DE IN TOTAAL 100 SWAP-WOFOST SIMULATIES VOOR 1995-2016



FIGUUR 4.13 GEMIDDELDE WORTEL DIEPTEN ALS FUNCTIE VAN DE GEMIDDELDE GRONDWATERSTAND VOOR VERSCHILLENDE JAREN VOOR GRAS (LINKS) EN MAIS (RECHTS) OP BOFEK BODEMTYPE 304. IEDER PUNT GEEFT DE GESIMULEERDE GEMIDDELDE GRONDWATERSTAND EN WORTEL DIEPTTE VAN EEN SPECIFIEK JAAR VAN ÉÉN VAN DE IN TOTAAL 100 SWAP-WOFOST SIMULATIES VOOR 1995-2016



Tussen verschillende jaren kan de gemiddelde worteldiepte variëren, ook bij gelijke gemiddelde grondwaterstanden. Net als bij de opbrengst, hebben deze verschillen met variaties in het weer te maken. De gemiddelde worteldiepte van de twee gewassen reageert daarbij verschillend op de diverse weersomstandigheden (Figuur 4.13).

#### 4.1.4.2 GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEKEN: GXG EN STATISTISCHE MOMENTEN

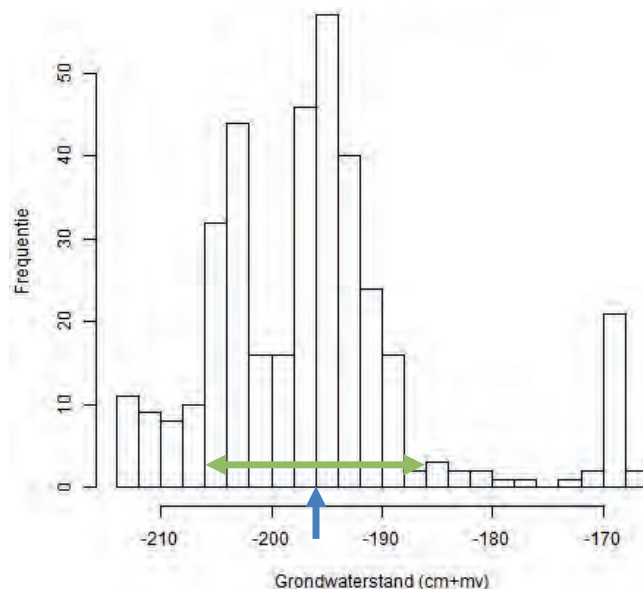
Grondwaterstanden kunnen sterk variëren over de tijd. Er bestaan verschillende manieren om (de variatie van) grondwaterstanden te karakteriseren. Voor de metarelaties die ontwikkeld zijn voor de WWL-tabel, is gebruik gemaakt van GxG maar ook van statistische momenten.

De gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG, samen GxG) zijn veel gebruikte grondwaterkarakteristieken. Deze betreffen het gemiddelde van respectievelijk de drie hoogste en de drie laagste grondwaterstanden per hydrologisch jaar (april tot april) (Van der Sluijs, 1990), zoals deze gemeten zijn op de 14e en de 28e van elke maand, voor minimaal 8 hydrologische jaren.

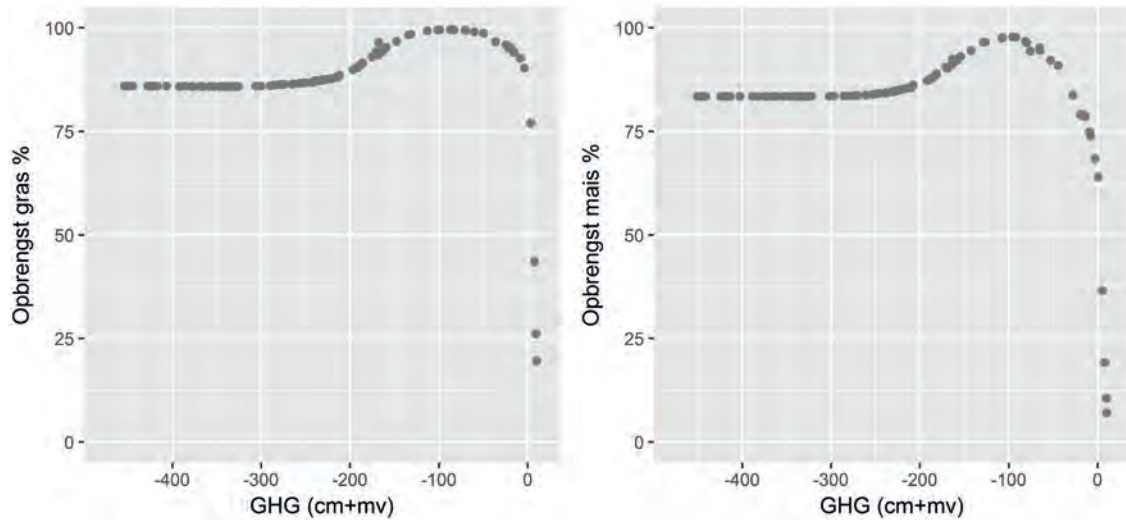
De variatie van grondwaterstanden over de tijd kan ook worden gekarakteriseerd door de statistische momenten van de jaarreeks: het gemiddelde, de spreiding, en de scheefheid (deze worden ter verduidelijking geïllustreerd in Figuur 4.14).

In sectie 4.1.4.1 is reeds beschreven dat de gemiddelde opbrengst over meerdere jaren goed voorspeld wordt door de gemiddelde grondwaterstand, maar dat de opbrengst tussen afzonderlijke jaren sterk kan verschillen en sterkt lijkt af te hangen van weersomstandigheden. Een zelfde verband wordt gevonden als de gemiddelde opbrengst met de GxG wordt vergeleken. De GHG is bijvoorbeeld een goede voorspeller van de langjarig gemiddelde opbrengst (Figuur 4.15), maar de verschillen tussen verschillende jaren kunnen niet verklaard worden door deze karakteristieken (Figuur 4.16).

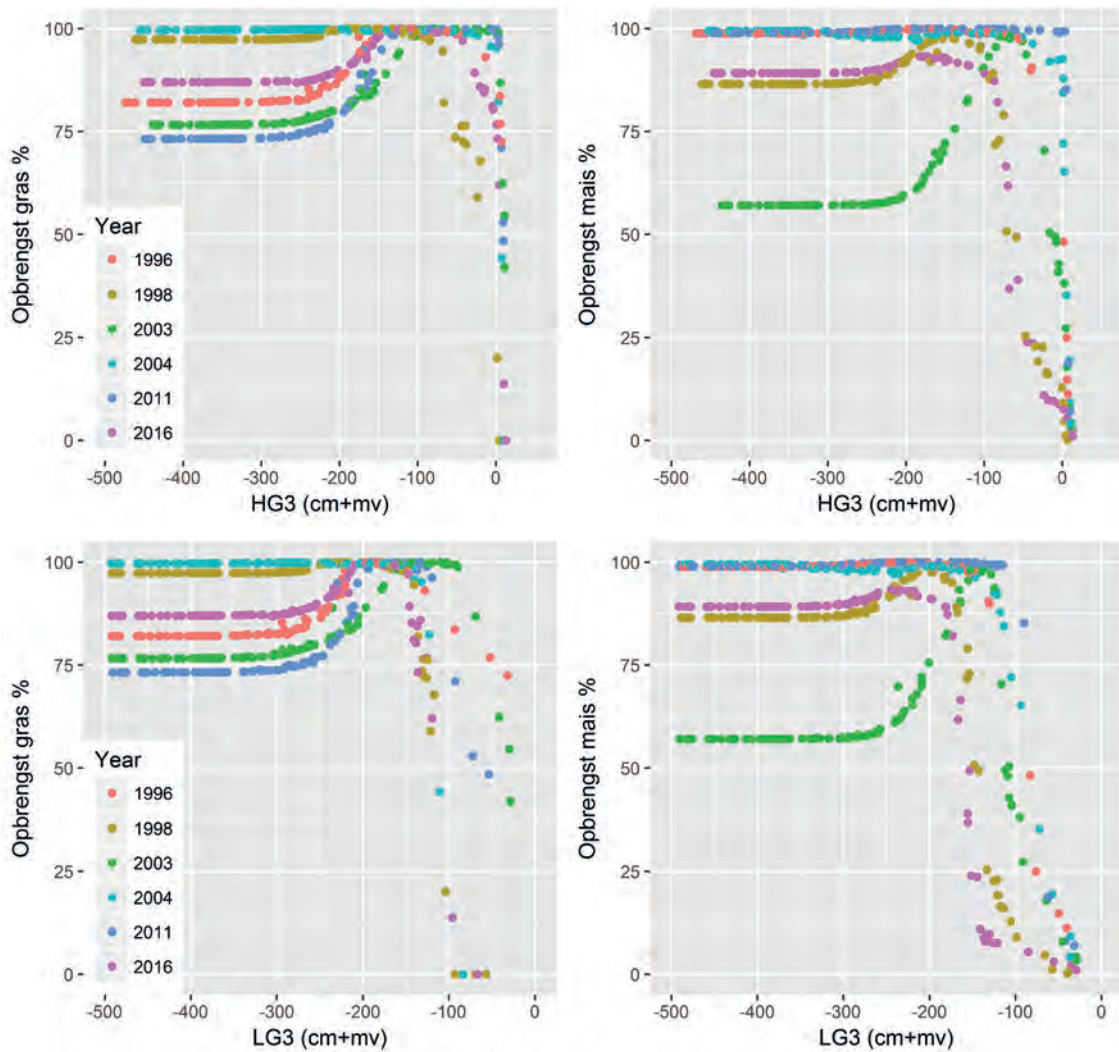
**FIGUUR 4.14** HISTOGRAM VAN DAGELIJKSE GRONDWATERSTANDEN VOOR EEN JAAR. DE BLAUWE PIJL GEEFT HET GEMIDDELDE AAN, EN DE GROENE DUBBELE PEIL GEEFT HET BEREIK AAN VAN DE STANDAARDDEVIATIE, WELKE DE VIERKANTSWORTEL IS VAN DE SPREIDING (VARIANTIE; TWEDE STATISTISCHE MOMENT). DE SCHEEFHEID GEEFT AAN IN WELKE MATE ER SPRAKE IS VAN ASYMMETRIE VAN DE VERDELING (IN DIT GEVAL 1.14, OFWEL DE VERDELING RECHTSSCHEEF IS VERDEELD, WAT BETEKENT DAT UITZONDERLIJK HOGE GRONDWATERSTANDEN RELATIEF VAKER VOORKOMEN DAN UITZONDERLIJK LAGE GRONDWATERSTANDEN)



FIGUUR 4.15 OPBRENGST VAN GRAS (LINKS) EN MAIS (RECHTS) BIJ VERSCHILLENDE WAARDEN VAN GEMIDDELD HOOGSTE GRONDWATERSTANDEN (GHG) OP BOFEK BODEMTYPE 304 VOOR DE PERIODE 1995-2016. IEDER PUNT GEEFT DE GESIMULEERDE LANGJARIG GEMIDDELD GROUNDWATERSTAND EN GEWASOPBRENGST VAN ÉÉN VAN DE IN TOTAAL 100 SWAP-WOFOST SIMULATIES VOOR 1995-2016



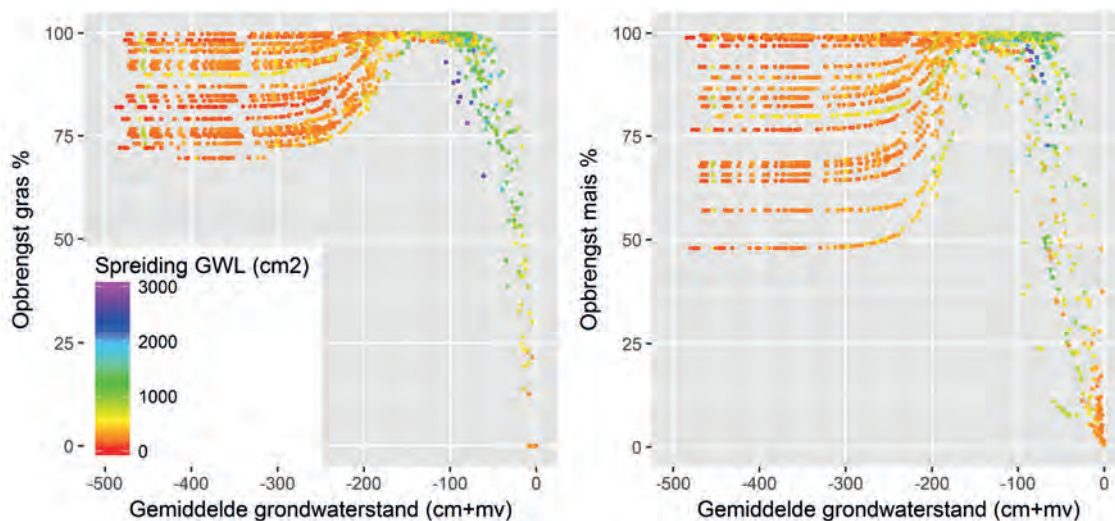
FIGUUR 4.16 OPBRENGST ALS FUNCTIE VAN HG3 (HET GEMIDDELD VAN DE DRIE HOOGSTE GRONDWATERSTANDEN, GEMETEN OP DE 14E EN 28E VAN IEDERE MAAND IN EEN HYDROLOGISCH JAAR, BOVEN) EN LG3 (HET GEMIDDELD VAN DE DRIE LAAGSTE GRONDWATERSTANDEN, GEMETEN OP DE 14E EN 28E VAN IEDERE MAAND IN EEN HYDROLOGISCH JAAR, ONDER) VOOR GRAS (LINKS) EN MAIS (RECHTS) VOOR DIVERSE JAREN OP BOFEK BODEMTYPE 304. IEDER PUNT GEEFT DE GESIMULEERDE HG3 (BOVEN) OF LG3 (ONDER) EN GEWASOPBRENGST VAN EEN SPECIFIEK JAAR VAN ÉÉN VAN DE IN TOTAAL 100 SWAP-WOFOST SIMULATIES VOOR 1995-2016



Naast de gemiddelde grondwaterstand is voor de voorbeeldsimulaties bekeken of het tweede en het derde statistische moment (respectievelijk, spreiding en scheefheid) inzicht geven in de verschillen in opbrengst tussen jaren.

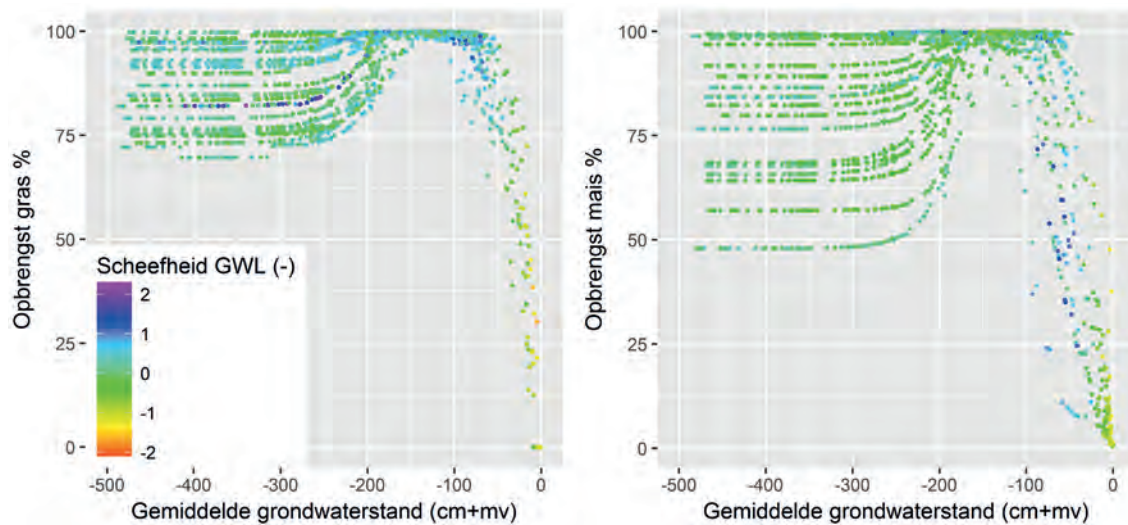
In Figuur 4.17 is te zien dat de spreiding van de grondwaterstand binnen een jaar (in kleur) correleert met de gemiddelde grondwaterstand per jaar (kleurpatronen in horizontale richting). Zowel lage als heel hoge grondwaterstandsreeksen vertonen vaak een lage spreiding, omdat pieken en dalen gedempt worden door de onverzadigde zone (bij diepe grondwaterstanden) of gelimiteerd worden door het maaiveld (in de maatwerkberekeningen is inundatie niet meegenomen). Er zijn echter geen eenduidige kleurverschillen te zien wanneer gelet wordt op de opbrengstverschillen tussen jaren bij een bepaalde grondwaterstand. Opbrengstvermindering bij de verschillende grondwaterstanden komt voor bij zowel lage als hogere spreiding. Dit betekent dat de verschillen in opbrengst tussen verschillende jaren, maar bij een zelfde grondwaterstand (x-as) niet verklaard lijken te worden door de spreiding van de grondwaterstanden binnen deze jaren. Figuur 4.18 betreft een vergelijkbare grafiek, waarin het effect van de scheefheid van de grondwaterstandreeks is meegenomen. Ook hier vertonen de kleuren geen duidelijk patroon in de y-richting; hoge of lage waarden voor de scheefheid lijken niet samen te hangen met verminderde gewasopbrengst bij de verschillende grondwaterstanden. Onduidelijk is nog of de oorzaak van het ontbreken van een duidelijk verband ligt in de voor deze analyse gekozen hydrologische randvoorwaarden voor de 100 SWAP-WOFOST simulaties of dat zo'n verband in algemeenheid ontbreekt. Deze analyse dient in een vervolgonderzoek nog te worden uitgewerkt, waarbij gebruik kan worden gemaakt van de SWAP-WOFOST simulaties die gebruikt worden voor het afleiden van de WWL-tabel.

FIGUUR 4.17 JAARLIJKSE OPBRENGST VAN GRAS (LINKS) EN MAIS (RECHTS), AFHANKELIJK VAN DE GEMIDDELTE GRONDWATERSTAND PER JAAR OP BOFEK BODEMTYPE 304. DE SPREIDING VAN DE GRONDWATERSTANDEN BINNEN EEN JAAR IS WEERGEGEVEN IN KLEUR. IEDER PUNT GEEFT DE GESIMULEERDE GEMIDDELTE GRONDWATERSTAND EN GEWASOPBRENGST VAN EEN JAAR VAN EEN VAN DE IN TOTAAL 100 SWAP-WOFOST SIMULATIES VOOR 1995-2016





FIGUUR 4.18 JAARLIJKSE OPBRENGST VAN GRAS (LINKS) EN MAIS (RECHTS), AFHANKELIJK VAN DE GEMIDDELTE GRONDWATERSTAND PER JAAR OP BOFEK BODEMTYPE 304. DE SCHEEFHEID VAN DE GRONDWATERSTANDEN BINNEN EEN JAAR IS WEERGEGEVEN IN KLEUR. IEDER PUNT GEEFT DE GESIMULEERDE GEMIDDELTE GRONDWATERSTAND EN GEWASOPBRENGST VAN EEN JAAR VAN ÉÉN VAN DE IN TOTAAL 100 SWAP-WOFOST SIMULATIES VOOR 1995-2016



#### 4.1.4.3 VERGELIJKING VAN DE METARELATIES MET DE MAATWERKBEREKENINGEN

Om de bruikbaarheid van diverse grondwaterkarakteristieken te onderzoeken, zijn de uitkomsten van SWAP-WOFOST simulaties vergeleken met resultaten van de WWL-tabel. Aangezien deze tool geen gegevens van meteorostation Arcen bevat, zijn berekeningen (zowel met SWAP-WOFOST als middels de WWL-tabel) verricht voor 30 jaar (1981-2010) meteorologische gegevens van De Bilt, voor bodemtype 304, voor 100 verschillende drainageniveaus tussen -2.5 m en -0.25 m+mv.

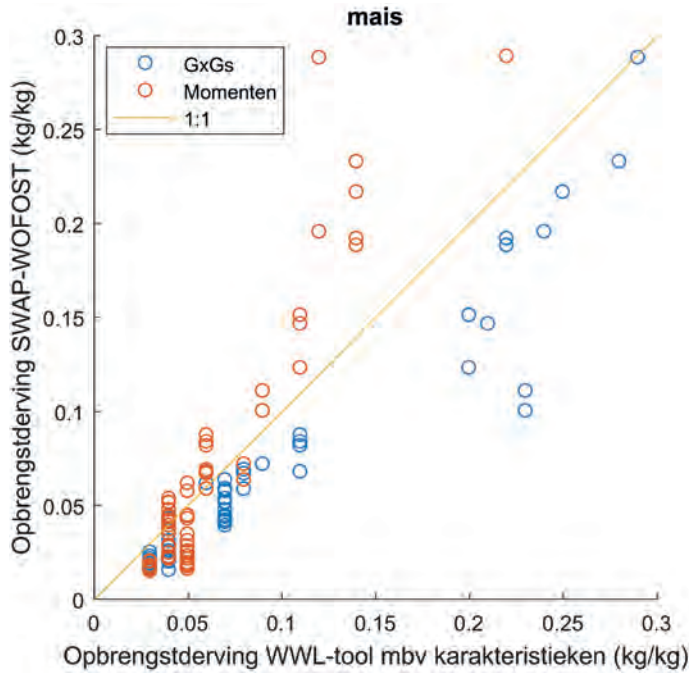
Uit de langjarige grondwaterreeksen zoals gesimuleerd met SWAP-WOFOST zijn de GxG en de eerste drie momenten berekend. Deze zijn ingevoerd in de WWL-tabel. Figuur 4.19 en Figuur 4.20 vergelijken de resultaten van beide methoden met de resultaten van de SWAP-WOFOST simulaties voor mais. Bij de interpretatie van deze resultaten moet rekening worden gehouden met het feit dat de WWL-tabel nog niet voor alle grondwaterstanden uitvoer geeft. Dit is het geval bij relatief hoge en lage grondwaterstanden. Bij gebruik van statistische momenten geldt een iets groter bereik van grondwaterstanden waarvoor opbrengstderivaten bekend zijn dan voor GxG's. Daarnaast moet er rekening mee gehouden worden dat voor SWAP-WOFOST simulaties slechts het drainageniveau is gevarieerd, terwijl de WWL-tabel is afgeleid van simulaties waarbij een grotere variatie aan grondwaterstanden is verkregen. Deze resultaten zijn daarom niet geschikt om uitspraken te doen over de juistheid van de uitvoer van de WWL-tabel, maar kunnen wel illustreren hoe verschillende typen karakteristieken van dezelfde grondwaterreeks tot verschillende resultaten kunnen leiden.

Uit de resultaten blijkt dat bij hogere opbrengstderivaten met momenten vaak relatief lage opbrengstderivaten worden berekend, terwijl GxG-invoer leidt tot relatief hoge opbrengstderivaten. Bij lagere opbrengstderivaten lijken de verschillen tussen beide methoden klein. Een mogelijke verklaring voor de hogere opbrengstderivaten die berekend worden op basis van GxG moet mogelijk gezocht worden in de lage samplingfrequentie van deze karakteristiek. Omdat deze karakteristiek kortdurende events (zoals extreme neerslag in de zomer) niet altijd registreert, kunnen gemiddelde opbrengstderivaten bij een bepaalde GxG waarde gemiddeld hoger zijn. Voor de momenten zou juist het omgekeerde kunnen gelden: omdat

niet alleen events tijdens het groeiseizoen, maar ook daarbuiten worden meegenomen, kan de gemiddelde opbrengstderiving bij bepaalde invoerwaarden lager uitvallen. Hieruit volgt dat zowel GxG's als momenten niet optimaal zijn om de juiste opbrengstderiving te verkrijgen. Dit onderwerp verdient nadere analyse, waarbij ook alternatieve verklarende grondwaterstands-karakteristieken moeten worden onderzocht.

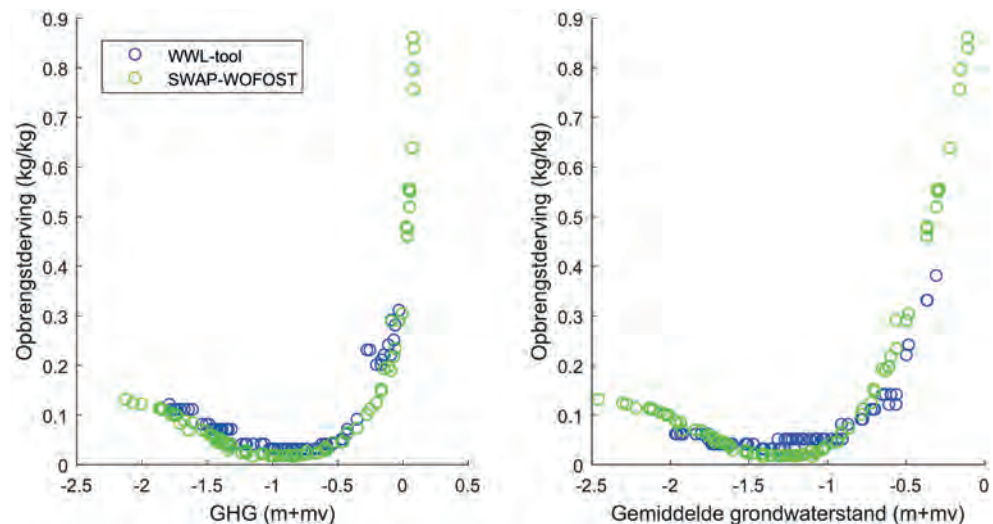
FIGUUR 4.19

BEREKENDE OPBRENGSTDERIVINGEN VOOR MAIS ZOALS GESIMULEERD MET SWAP-WOFOST (Y-AS) ALS FUNCTIE VAN OPBRENGSTDERIVINGEN BEREKEND MET DE WWL-TABEL MET INVOER VAN GxG EN MOMENTEN VAN GRONDWATERSTANDSREEKSEN VERKREGEN MET SWAP-WOFOST. IEDER PUNT GEEFT DE OPBRENGSTDERIVING WEER, ZOALS BEREKEND IS DOOR DE WWL-TABEL EN MIDDELS SWAP-WOFOST SIMULATIES (1981-2010)



FIGUUR 4.20

OPBRENGSTDERIVINGEN VAN MAIS OVER DE GHG (LINKS) EN DE GEMIDDELTE GRONDWATERSTAND (EERSTE MOMENT, RECHTS), ZOALS BEREKEND MET DE WWL-TABEL EN SWAP-WOFOST SIMULATIES (VOOR DE PERIODE 1981-2010). IEDER PUNT GEEFT DE BEREKENDE OPBRENGSTDERIVING WEER ZOALS VERKREGEN MET DE BETREFFENDE METHODE OP BASIS VAN DE AANGEGEVEN GRONDWATERSTANDSKARAKTERISTIEK



#### 4.1.4.4 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

De verrichte simulaties met SWAP-WOFOST laten zien dat de gemiddelde gewasopbrengst over vele jaren goed voorspeld kan worden op basis van de momenten (eerste moment, gemiddelde) of GxG van de grondwaterstandreeksen. De variatie tussen jaren kan echter niet goed verklaard worden door deze karakteristieken. De weersomstandigheden spelen hierbij een rol. Vooral de timing van droogte of extreme neerslag in een jaar lijken hierbij van grote invloed te zijn. Ook wat betreft meerjarige gemiddeldes kan gebruik van GxG of momenten leiden tot verschillen in berekende gewasopbrengst.

Omdat deze studie gebaseerd is op een relatief beperkte dataset met verschillende ontwateringsdieptes (drainageniveaus), waarbij andere factoren constant zijn gehouden, kunnen slechts voorlopige uitspraken gedaan worden over de bruikbaarheid van de grondwaterstandskarakteristieken. Beide typen karakteristieken bevatten waarschijnlijk onvoldoende informatie over (de timing van) tijdelijke events, die veel invloed hebben op de opbrengstderving. Het wordt aanbevolen om nadere analyses uit te voeren met de genoemde en alternatieve karakteristieken middels een bredere dataset, bijvoorbeeld zoals die verkregen wordt met het afleiden van de nieuwe WWL-tabel. Binnen deze analyses is het nuttig om aandacht te besteden aan afzonderlijke jaren, waaronder jaren met afwijkende patronen, zoals 2016, waarin extreme neerslag in de zomer plaatsvond. Deze kortdurende gebeurtenissen komen niet terug in de karakteristieken, terwijl zij grote invloed hebben op de opbrengstderving. Naast effecten van kortdurende gebeurtenissen zoals hevige neerslag die niet goed met GxG's en momenten kunnen worden gekarakteriseerd, zullen de GxG's en momenten ook niet goed bruikbaar zijn bij een niet natuurlijk verloop van de grondwaterstand, zoals bij omgekeerd peilbeheer.

Voor specifieke situaties en jaren wordt aanbevolen om specifieke SWAP-WOFOST simulaties te gebruiken in plaats van grondwaterstandskarakteristieken en de WWL-tabel. In deze studie hebben we laten zien dat met zulke detailsimulaties extra inzicht kan worden verkregen in het effect op de gewasopbrengst van extreme neerslag, zoals in de zomerperiode van 2016.

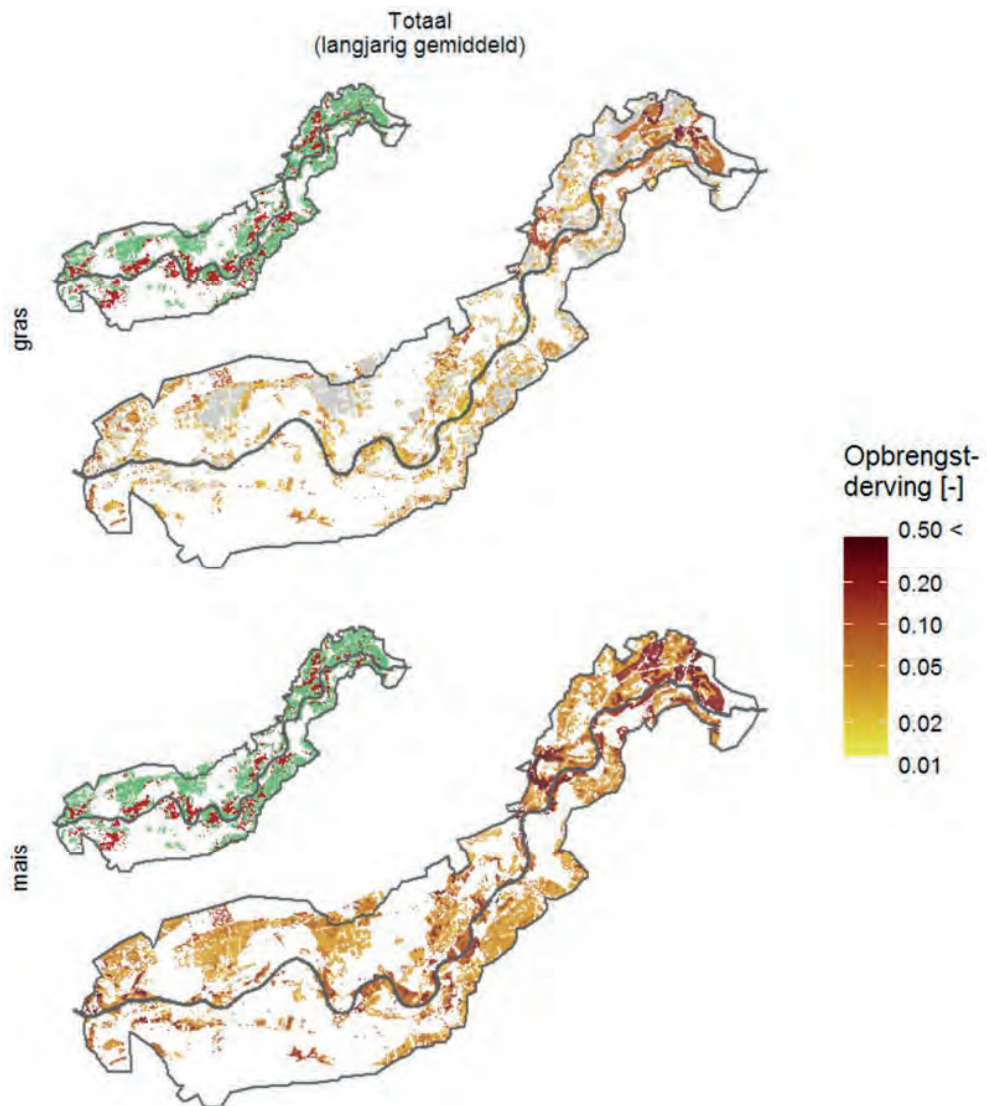
Voor inzicht in langjarige gemiddelde effecten van veranderingen in het waterbeheer op de gewasopbrengst is de WWL-tabel goed bruikbaar. Behalve inzicht in gewasopbrengsten en opbrengstdervingen, kan met de WWL-tabel en het formuleren van zogenaamde 'doelgaten' eenvoudig inzichtelijk worden gemaakt welke aanpassing in de grondwaterstand nodig is om een zo optimaal mogelijke waterhuishouding voor gewasgroei te creëren.

## 4.2 DE VECHT (STEGEREN)

De langjarige gemiddelde opbrengstderving voor gras en mais in stroomgebied van de Vecht is gegeven in Figuur 4.21. Zoals al bleek uit Figuur 3.3 is het areaal landbouw gering, met name in het westelijke deel. Daarbij komt nog een aanzienlijk deel van het areaal dat alsnog afvalt omdat de opgegeven GxG niet voorkomt in de Waterwijzer Landbouw gegevens (rode gebieden in in-set figuren in Figuur 4.21). Voor de duidelijkheid wordt vanaf nu alleen nog maar gekeken naar deelgebied Stegeren. Ook voor deelgebied Stegeren geldt echter dat een deel van het totale areaal geen landbouwareaal betreft en dat er GxG combinaties voorkomen die niet door Waterwijzer Landbouw kunnen worden gereproduceerd. Voor deze situaties kan achteraf natuurlijk wel een maatwerkberekening worden uitgevoerd (hier niet gedaan).

FIGUUR 4.21

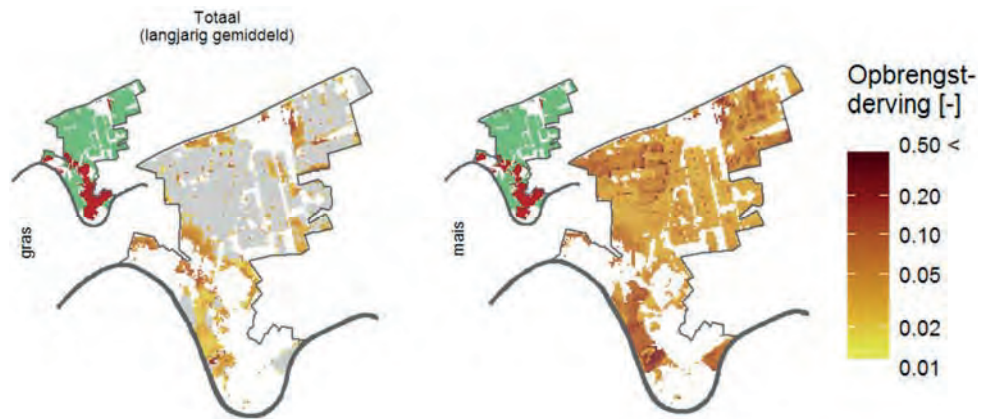
LANGJARIG GEMIDDELDE OPBRENGSTDERIVING VOOR GRAS EN MAIS VOOR HET PILOTGEBIED DE VECHT ZOALS BEREKEND MET WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL). DE OPBRENGSTDERIVING (ZIE LEGENDA; GRIJS BETEKENT GEEN OPBRENGSTDERIVING) IS GEGEVEN ALS FRACTIE (LOGARITMISCHE SCHAAL). DE IN-SETS GEVEN HET GEBIED WEER WAAROVER IN PRINCIPLE ALLEEN MAAR UITSPRAKEN GEDAAN KUNNEN WORDEN (CF. FIGUUR 3.3), WAARBIJ DE RODE VLAKKEN DELEN ZIJN WAARVOOR WATERWIJZER LANDBOUW ACHTERAF GEZIEN GEEN UITSPRAKEN KAN DOEN



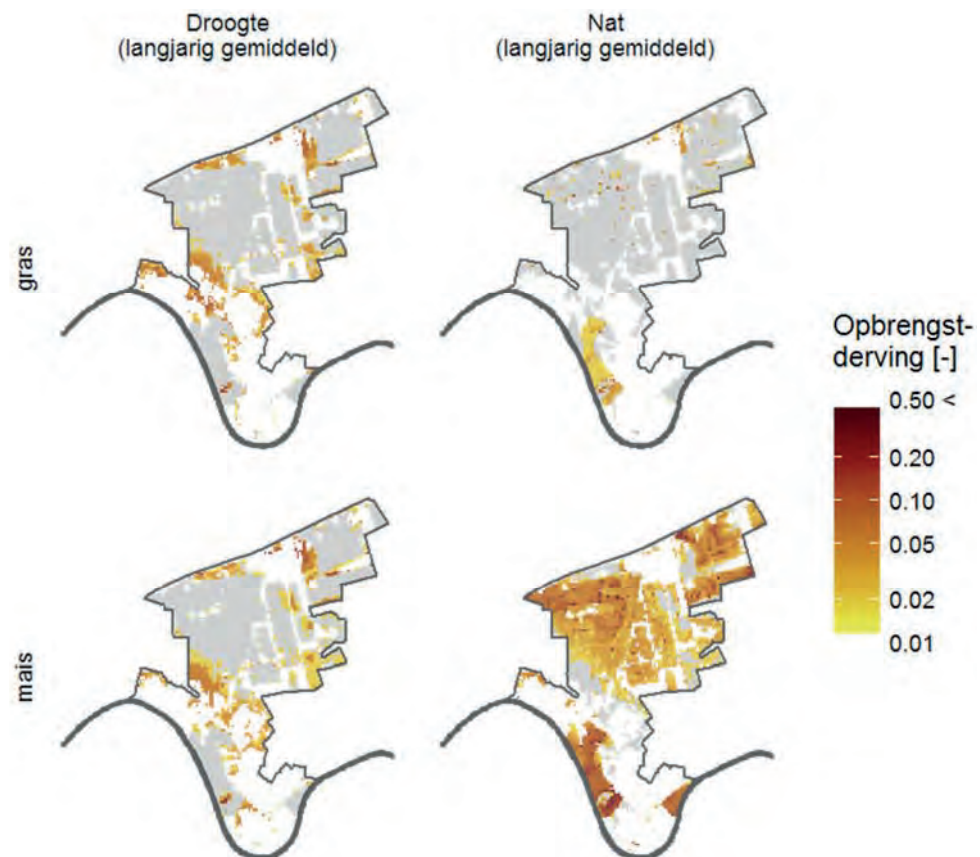
#### 4.2.1 HUIDIG SCENARIO

Voor gras wordt voor een groot deel geen opbrengstderving (<1%) berekend in deelgebied Stegeren (Figuur 4.22). De meeste opbrengstderving betreft droogteschade, en natschade wordt aangetroffen in het landbouwareaal grenzend aan de Vecht (Figuur 4.23).

FIGUUR 4.22 LANGJARIG GEMIDDELTE OPBRENGSTDERIVING VOOR GRAS EN MAIS VOOR DEELGEBIED STEGEREN IN PILOTGEBIED DE VECHT ZOALS BEREKEND MET WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL). ZIE VERDER UITLEG BIJ FIGUUR 4.21



FIGUUR 4.23 LANGJARIG GEMIDDELTE OPBRENGSTDERIVING UITGESPLITST OVER AANDEEL DROOGTE EN AANDEEL NATSCHADE VOOR GRAS EN MAIS VOOR DEELGEBIED STEGEREN IN PILOTGEBIED DE VECHT ZOALS BEREKEND MET WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL). ZIE VERDER UITLEG BIJ FIGUUR 4.21

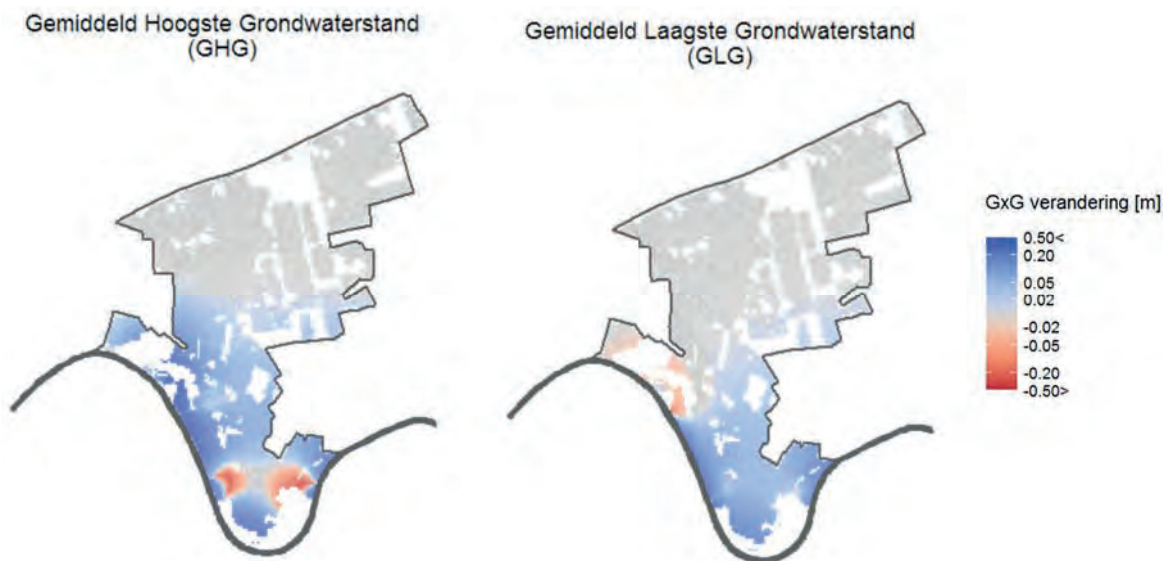


#### 4.2.2 EFFECT INRICHTINGSMAATREGEL

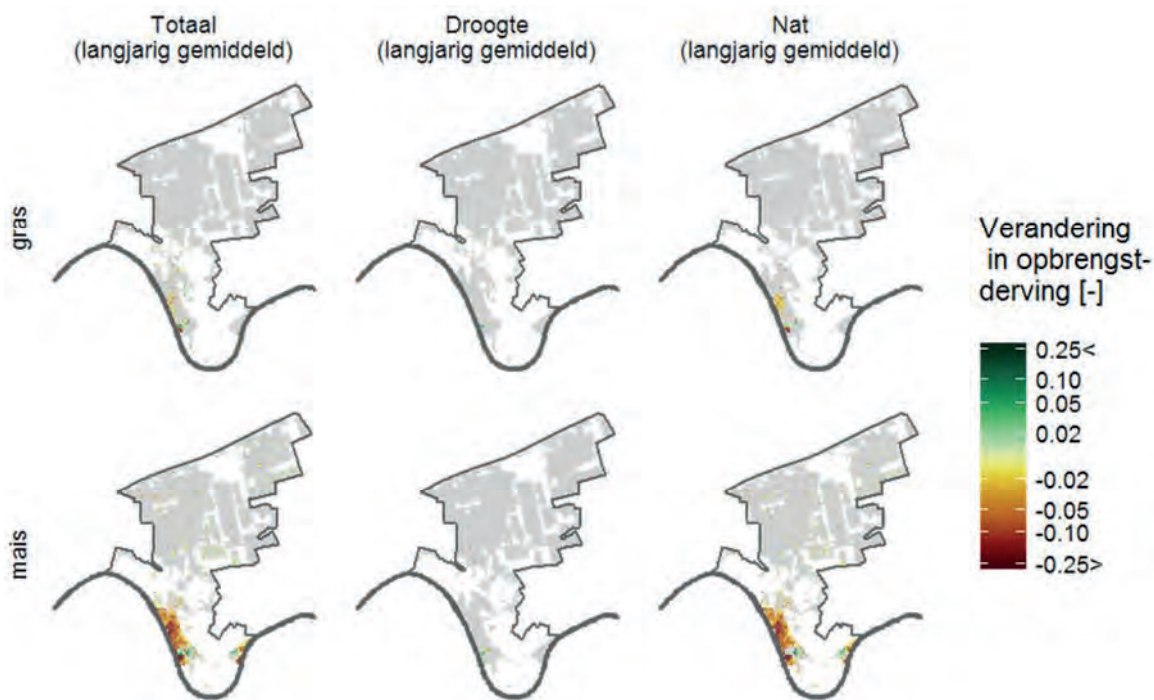
Waterschap Vechtstromen heeft met een grondwatermodel een inrichtingsmaatregel (inclusief peilaanpassing) doorgerekend. Dit heeft geleid tot een aanpassing in de GxG (Figuur 4.24): voor het grootste deel is er sprake van zowel een ondiepere GLG als een ondiepere GHG (vernattig). Vervolgens is Waterwijzer Landbouw doorgerekend met zowel de GxG huidig als met deze aangepaste GxG. Dat leidt tot verschillen in berekende opbrengstderiving. Deze veranderingen in opbrengstderiving zijn voor gras en mais getoond in Figuur 4.25. Het effect van de inrichtingsmaatregel is zeer gering op de opbrengstderiving voor gras. Voor mais is er

enig effect zichtbaar op natschade (en dus totale opbrengstderiving) voor het gebied direct grenzend aan de Vecht: er wordt meer natschade berekend.

FIGUUR 4.24 VERSCHILLEN IN GxG (BOVEN: GHG; ONDER: GLG) ALS GEVOLG VAN EEN INRICHTINGSMATREGEEL TEN OPZICHTE VAN EEN HUIDIGE SITUATIE IN DEELGEBIED STEGEREN IN PILOTGEBIED DE VECHT, MET IN HET BLAUW EEN ONDIEPERE GxG EN IN HET ROOD EEN DIEPERE GxG



FIGUUR 4.25 VERSCHILLEN IN OPBRENGSTDERIVING (ABSOLUUT; LINKER KOLOM: TOTAAL; MIDDELSTE KOLOM: DROOGTE; RECHTER KOLOM: NATSCHADE) VOOR GRAS (BOVENSTE RIJ) EN MAIS (ONDERSTE RIJ) IN DEELGEBIED STEGEREN ALS GEVOLG VAN EEN INRICHTINGSMATREGEEL TEN OPZICHTE VAN DE HUIDIGE SITUATIE IN DEELGEBIED STEGEREN IN PILOTGEBIED DE VECHT, MET IN HET GROEN EEN VERBETERING EN IN HET ROOD EEN VERSLECHTERING ALS GEVOLG VAN DE MATREGEEL ZOALS BEREKEND MET WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL)

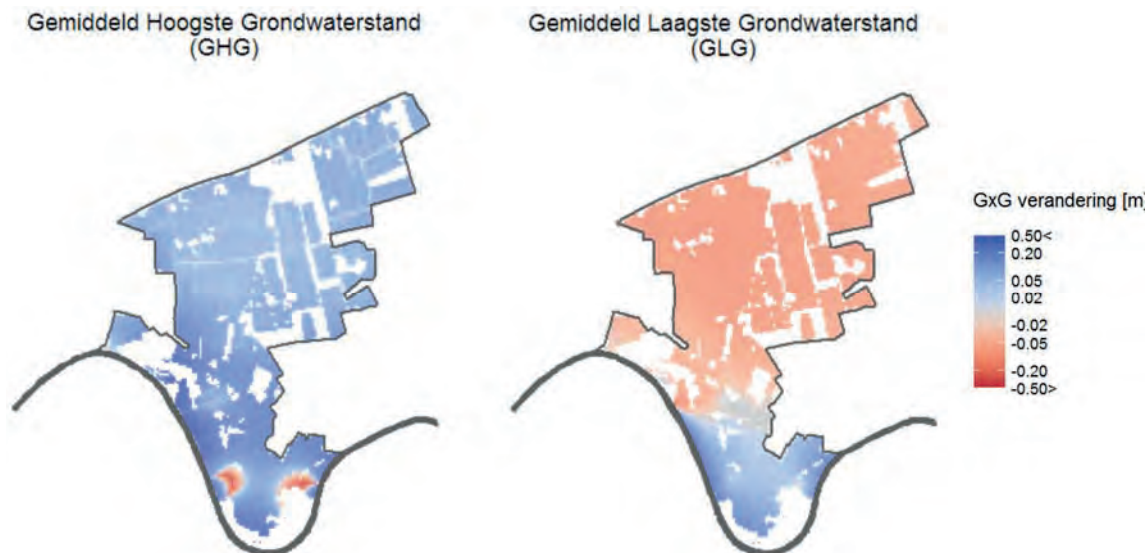


#### 4.2.3 EFFECT KLIMAATSCENARIO'S

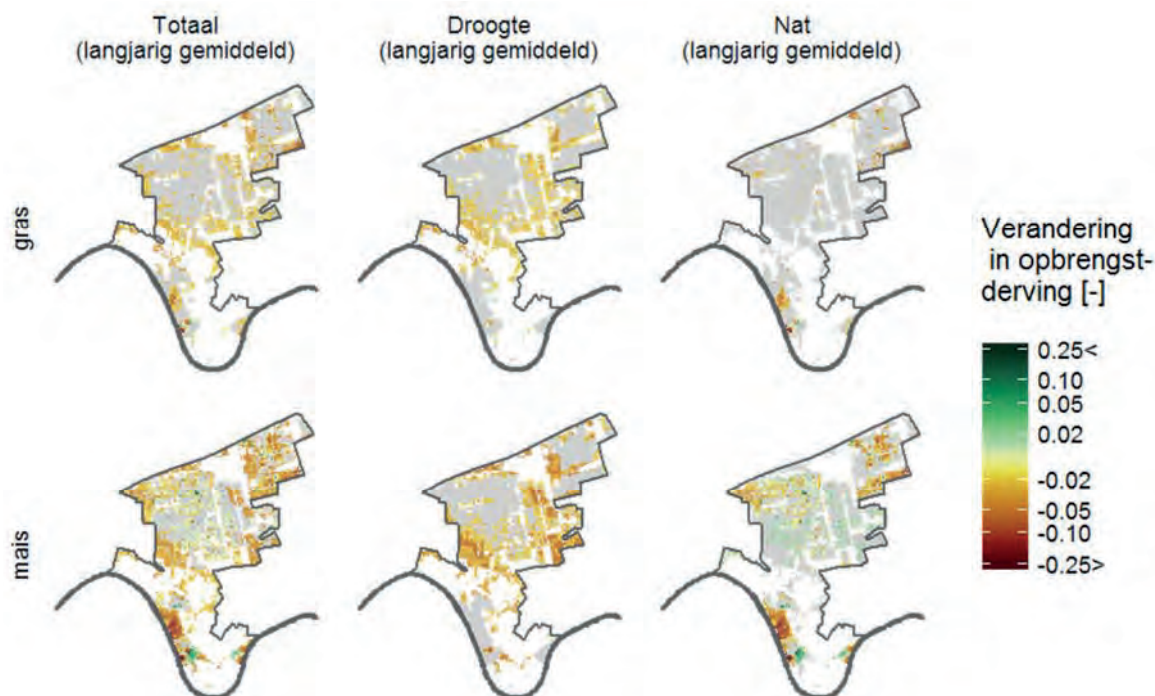
Met Waterwijzer Landbouw kan ook gekeken worden naar het effect van klimaatverandering op de berekende opbrengstderiving. Hier is als voorbeeld de situatie van klimaatscenario  $W_H$  (KNMI) vergeleken met het huidige klimaat. Ook hiervoor is, naast veranderde klimaatgegevens, gewijzigde invoer met betrekking tot GxG (zoals aangeleverd door waterschap

Vechtstromen) beschouwd (Figuur 4.26): ondiepere GHG en diepere GLG. De verschillen in opbrengstderiving tussen klimaatscenario WH en huidige klimaat zijn gegeven in Figuur 4.27. Voor gras en mais wordt meer droogteschade berekend, terwijl voor mais op enkele plekken minder natschade wordt berekend.

FIGUUR 4.26 VERSCHILLEN IN GXG (BOVEN: GHG; ONDER: GLG) ALS GEVOLG VAN KLIMAATSCENARIO WH TEN OPZICHTE VAN HET HUIDIGE KLIMAAT IN DEELGEBIED STEGEREN IN PILOTGEBIED DE VECHT, MET IN HET BLAUW EEN ONDIEPERE GXG EN IN HET ROOD EEN DIEPERE GXG



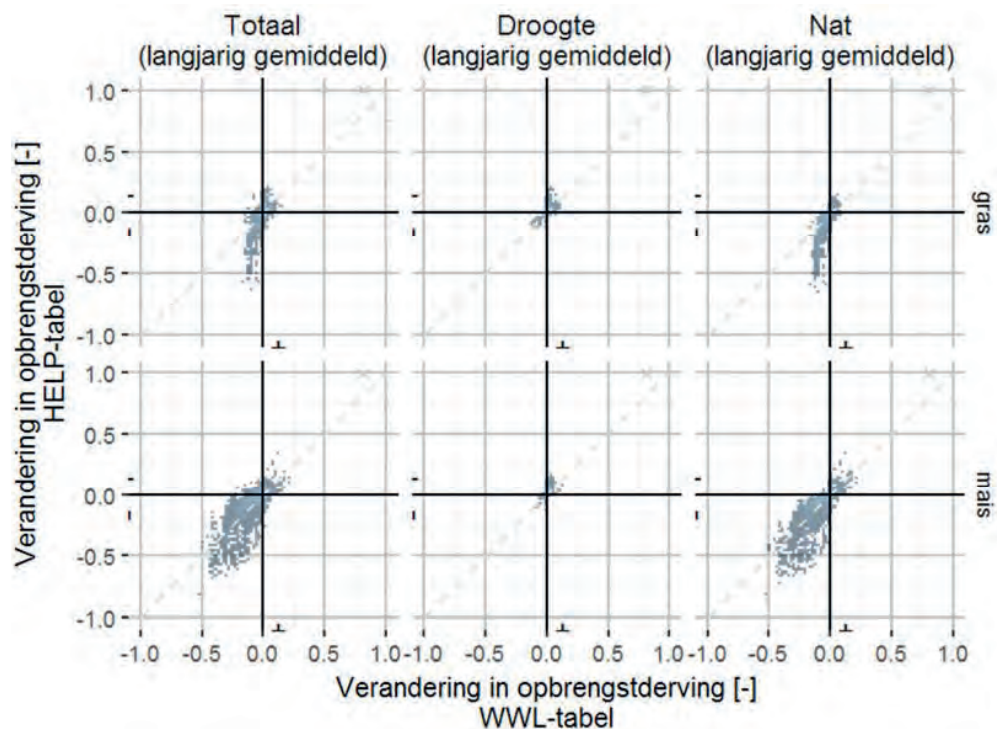
FIGUUR 4.27 VERSCHILLEN IN OPBRENGSTDERIVING (ABSOLUUT; LINKER KOLOM: TOTAAL; MIDDELSTE KOLOM: DROOGTE; RECHTER KOLOM: NATSCHADE) VOOR GRAS (BOVENSTE RIJ) EN MAIS (ONDERSTE RIJ) IN DEELGEBIED STEGEREN ALS GEVOLG VAN KLIMAATSCENARIO WH TEN OPZICHTE VAN HET HUIDIGE KLIMAAT IN DEELGEBIED STEGEREN IN PILOTGEBIED DE VECHT, MET IN HET GROEN EEN VERBETERING EN IN HET ROOD EEN VERSLECHTERING ALS GEVOLG VAN HET KLIMAAT ZOALS BEREKEND MET WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL)



#### 4.2.4 VERGELIJKING MET DE HELP-TABEL

Met Waterwijzer Landbouw (WWL-tabel) en de HELP-tabel zijn de veranderingen in opbrengstderiving als gevolg van de inrichtingsmaatregel ten opzichte van de huidige situatie doorgerekend voor het hele pilotgebied de Vecht. Volgens beiden neemt de opbrengstderiving voornamelijk toe, en betreft het vooral effecten op de natschade (Figuur 4.28). Een zuivere vergelijking is echter niet mogelijk, omdat Waterwijzer Landbouw tot op heden alleen de directe schade (effect op gewasproductie als gevolg van effect op transpiratie) berekent, terwijl in de HELP-tabel de som van directe en indirecte schade wordt vastgesteld (zie ook Sectie 2). In de nabije toekomst zal ook Waterwijzer Landbouw uitgebreid worden met indirecte schade.

FIGUUR 4.28 VERANDERING IN OPBRENGSTDERIVING ALS GEVOLG VAN EEN INRICHTINGSMATREGEEL TEN OPZICHT VAN DE HUIDIGE SITUATIE BEREKEND MET WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL) EN MET DE HELP-TABEL VOOR HET TOTALE PILOTGEBIED DE VECHT



#### 4.2.5 OVERZICHT OPBRENGSTDERIVINGEN

De gerapporteerde opbrengstderivingen zijn in Tabel 4.3 (voor het hele pilotgebied de Vecht) en Tabel 4.4 (voor deelgebied Stegeren) samengevat door voor de diverse situaties de gemiddelde opbrengstderivingen te geven, inclusief enkele percentielwaarden. In Tabel 4.5 zijn de gemiddelde veranderingen in opbrengstderivingen gegeven als gevolg van de inrichtingsmaatregel (ten opzichte van huidig) voor het hele pilotgebied de Vecht en voor deelgebied Stegeren zoals berekend met Waterwijzer Landbouw en met de HELP-tabel.



TABEL 4.3

OVERZICHT VAN GEMIDDELTE OPBRENGSTDERIVINGEN VOOR GRAS EN MAIS IN PILOTGEBIED DE VECHT ZOALS BEREKEND MET WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL): LANGJARIG TOTAAL, DROOG EN NAT VOOR HUIDIGE SITUATIE, NA DOORVOERING VAN INRICHTINGSMATREGELEN EN VOOR KLIMAATSCENARIO  $W_H$ . TEVENS ZIJN DE 5%, 25%, 50%, 75% EN 95% PERCENTIELWAARDEN VAN DE VERDELING BINNEN HET GEBIED GEGEVEN

	Gemiddeld	5%	25%	50%	75%	95%
<b>Gras, huidig</b>						
Totaal	4.2	0	1	2	6	13
- droog	2.2	0	0	1	3	8
- nat	1.9	0	0	1	2	9
<b>Gras, maatregel</b>						
Totaal	4.3	0	1	2	6	14
- droog	2.1	0	0	1	3	8
- nat	2.1	0	0	1	2	10
<b>Gras, klimaat <math>W_H</math></b>						
Totaal	5.9	1	2	4	9	16
- droog	3.8	0	1	2	5	12
- nat	2	0	0	0	3	9
<b>Mais, huidig</b>						
Totaal	10	3	4	6	11	32
- droog	2	0	0	0	2	8
- nat	8	1	2	4	9	29
<b>Mais, maatregel</b>						
Totaal	10.7	3	4	6	13	35
- droog	2	0	0	0	2	7
- nat	8.7	1	2	4	10	35
<b>Mais, klimaat <math>W_H</math></b>						
Totaal	11	4	5	8	14	30
- droog	4	0	0	2	6	16
- nat	7	0	1	3	10	27

TABEL 4.4

OVERZICHT VAN GEMIDDELTE OPBRENGSTDERIVINGEN VOOR GRAS EN MAIS VOOR DEELGEBIED STEGEREN IN PILOTGEBIED DE VECHT ZOALS BEREKEND MET WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL). ZIE UITLEG BIJ TABEL 4.3

	Gemiddeld	5%	25%	50%	75%	95%
<b>Gras, huidig</b>						
Totaal	2.2	0	1	1	3	7
- droog	1.2	0	0	0	1	6
- nat	0.6	0	0	0	1	2
<b>Gras, maatregel</b>						
Totaal	2.2	0	1	1	3	7
- droog	1.2	0	0	0	1	6
- nat	0.7	0	0	0	1	3
<b>Gras, klimaat <math>W_H</math></b>						
Totaal	3.8	1	2	3	4	11
- droog	2.9	0	1	2	4	10
- nat	0.8	0	0	0	1	3
<b>Mais, huidig</b>						
Totaal	6.1	3	4	4	7	13
- droog	1.2	0	0	0	2	6
- nat	4.9	1	2	4	6	13

	Gemiddeld	5%	25%	50%	75%	95%
<b>Mais, maatregel</b>						
Totaal	6.7	3	4	4	7	19
- droog	1.2	0	0	0	2	6
- nat	5.5	1	2	4	7	18
<b>Mais, klimaat W<sub>H</sub></b>						
Totaal	7.5	4	4	6	9	15
- droog	3.1	0	0	2	5	10
- nat	4.4	0	1	2	7	13

TABEL 4.5 VERGELIJKING VAN VERANDERING IN GEMIDDELDE OPBRENGSTDERVINGEN (TOTAAL, DROOG, NAT) VOOR GRAS EN MAIS TUSSEN HUIDIGE SITUATIE EN DE SITUATIE NA DOORVOERING VAN DE INRICHTINGSMATREGEEL ZOALS BEREKEND DOOR WATERWIJZER LANDBOUW (WWL-TABEL) EN DOOR DE HELP-TABEL VOOR HET PILOTGEBIED DE VECHT (GEHEEL) ALSOOK VOOR DEELGEBIED STEGEREN

Huidig - maatregel	de Vecht (geheel) Waterwijzer Landbouw	HELP-tabel	Stegeren Waterwijzer Landbouw	HELP-tabel
<b>Gras</b>				
Totaal	-0.1	0	0	0.3
- droog	0.1	0.4	0.1	0.4
- nat	-0.2	-0.4	-0.1	-0.1
<b>Mais</b>				
Totaal	-0.6	-0.4	-0.3	0.1
- droog	0.1	0.3	0.1	0.4
- nat	-0.7	-0.7	-0.4	-0.4

#### 4.2.6 SAMENVATTING

Voor deelgebied Stegeren zijn berekeningen met de WWL-tabel uitgevoerd voor de huidige situatie en zijn tevens twee scenario's beschouwd (langjarige gemiddelde opbrengstderivingen). Met Waterwijzer Landbouw is het mogelijk om:

- het effect van een inrichtingsmaatregel (herinrichting van de Vecht inclusief peilaanpassing) op de opbrengstderiving te kwantificeren aan de hand van aangeleverde grondwaterstandskarakteristieken;
- het effect van een KNMI klimaatscenario (aangevuld met bijkomend effect op GxG) op de opbrengstderiving te kwantificeren.

Daarnaast is voor stroomgebied De Vecht het effect van de inrichtingsmaatregel berekend met Waterwijzer Landbouw (WWL-tabel) vergeleken met uitkomsten van de HELP-tabel. De beperkte vergelijking met de HELP-tabel levert een verschil op, maar deze is verklaarbaar. Naast conceptuele verschillen in beide onderliggende modellen wordt daarnaast gebruik gemaakt van andere invoergegevens (verschillen in klimaat, weer, bodemschematisering) en in de huidige Waterwijzer Landbouw ontbreekt nog de kwantificering van de indirecte schade. In tegenstelling tot Waterwijzer Landbouw kan de HELP-tabel niet worden toegepast om het effect van klimaatscenario's door te rekenen.

# 5

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In deze studie, uitgevoerd in het kader van kennisprogramma Lumbricus, is een prototype van het instrumentarium Waterwijzer Landbouw voor het eerst toegepast in twee pilotgebieden: de Raam (voor waterschap Aa en Maas), en de Vecht deelgebied Stegeren (voor waterschap Vechtstromen). Daarbij draait het om het kwantificeren van effecten van hydrologische omstandigheden op de landouwpbrengsten in de huidige situatie en als gevolg van ingrepen of als gevolg van klimaatverandering (met name bij de Vecht). Ook diende de vraag zich aan of Waterwijzer Landbouw het verschil tussen jaren kan kwantificeren en hoe bruikbaar het instrumentarium is voor extreme situaties (uitgewerkt voor de Raam).

Waterwijzer Landbouw bestaat uit twee hoofdcomponenten waarmee opbrengstderving vastgesteld kan worden: 1) eenvoudig toepasbare metarelaties vastgesteld op basis van een groot aantal vooraf berekende situaties met behulp van het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST (dit noemen we voorlopig de WWL-tabel), en 2) het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST waarmee maatwerkberekeningen kunnen worden uitgevoerd. Omdat bij aanvang van onderhavige studie Waterwijzer Landbouw nog niet helemaal was uitontwikkeld, is deze studie beperkt tot opbrengstderving als gevolg van droogte- of natschade voor gewassen gras en mais; overige gewassen en indirecte schade zijn dus buiten beschouwing gelaten.

Uit deze studie blijkt dat het mogelijk is om op basis van bestaande informatie (LGN5, BOFEK2012) en door de waterschappen aangeleverde grondwaterstands-informatie, namelijk GxG, opbrengstderving (directe schade: totaal, en uitgesplitst over aandeel droogte- en aandeel natschade) voor gras en voor mais te berekenen. Dit is gedaan aan de hand van de WWL-tabel.

Voor de Raam zijn berekeningen uitgevoerd met de WWL-tabel voor de huidige situatie. Hierbij zijn langjarig gemiddelde opbrengstdervingen bepaald (30 jaar) als ook opbrengstdervingen voor twee specifieke kalenderjaren (droog, nat). Omdat voor specifieke gebeurtenissen binnen een jaar de WWL-tabel niet kan worden toegepast, zijn voor pilotgebied de Raam maatwerkberekeningen met het modelinstrumentarium SWAP-WOFOST uitgevoerd. Hiermee is laten zien dat het dan wel mogelijk is om in te zoomen op specifieke gebeurtenissen, zoals de natte periode begin juni 2016 die in de Raam op verschillende locaties tot opbrengstderving heeft geleid. Met SWAP-WOFOST is het mogelijk het effect van hevige neerslaggebeurtenissen op de gewasopbrengst bij verschillende bodemtypen en ontwateringsdiepten inzichtelijk te maken.

Voor deelgebied Stegeren zijn berekeningen met de WWL-tabel uitgevoerd voor de huidige situatie en zijn tevens twee scenario's beschouwd (langjarige gemiddelde opbrengstdervingen): het effect van een inrichtingsmaatregel (herinrichting van de Vecht inclusief peilaanpassing) op verandering in GxG en daarmee op de opbrengstderving, en het effect van een KNMI klimaatscenario (aangevuld met bijkomend effect op GxG) op de opbrengst-

deriving. Daarnaast is voor stroomgebied De Vecht het effect van de inrichtingsmaatregel berekend met Waterwijzer Landbouw (WWL-tabel) vergeleken met uitkomsten van de HELP-tabel.

Deze studie laat zien dat je met Waterwijzer Landbouw meer kunt dan met de HELP-tabellen. Met Waterwijzer Landbouw:

- 1 kunnen langjarige, gemiddelde opbrengstdervingen voor het recente klimaat (1981-2010) opgevraagd worden;
- 2 kunnen nu ook de opbrengstdervingen voor specifieke jaren opgevraagd worden;
- 3 kunnen de effecten van klimaatscenario's op de relatie tussen waterhuishouding en gewasopbrengst (doorgerekend worden (periode 2036-2065);
- 4 kunnen de effecten van planvorming (bijv. herinrichting, peilbeheer via hun effecten op benodigde invoer zoals grondwaterstanden) doorgerekend worden voor huidig of toekomstig klimaat;
- 5 kunnen verschillende grondwaterstandsdynamieken beschouwd worden (GxG, grondwaterstandsmomenten);
- 6 kunnen optimale grondwaterstanden (doelgaten) voor aanwezige gewassen en meest geschikte gewassen voor specifieke gebieden worden gedefinieerd (geschiktheidskaarten);
- 7 kunnen aanvullend maatwerkberekeningen uitgevoerd worden om bijvoorbeeld het effect van extreme neerslaggebeurtenissen op opbrengstderving op lokale schaal (perceel) nader te bestuderen.

Punten 1 tot en met 6 kunnen met de WWL-tabel bepaald worden, en punt 7 met het model-instrumentarium SWAP-WOFOST.

Op deze manier geldt dat de gebruikers, bijvoorbeeld waterschappen, meer ruimte hebben dan met de huidige HELP-tabellen, om effecten van klimaat, inrichtingsmaatregelen, of extreme situaties te beschouwen. Uiteraard geldt, zoals bij elke modeltoepassing, dat de kwaliteit van de uitkomsten vooral ook bepaald wordt door de kwaliteit van de aangeleverde informatie en invoerdata.

De optie in Waterwijzer Landbouw om de grondwaterstands-informatie niet als GxG maar in de vorm van grondwaterstandsmomenten aan te leveren is in deze studie kort verkend voor één bodemtype en één periode. Beide typen karakteristieken lijken langjarige gemiddelden goed te voorspellen vergeleken met de maatwerkberekeningen, maar lijken niet voldoende inzicht te bieden in specifieke jaren, omdat (de timing van) tijdelijke gebeurtenissen niet worden meegenomen. Aanbevolen wordt om de verschillen tussen deze en alternatieve grondwaterstandskarakteristieken nader te bestuderen met een geschikte dataset waarin alle parameters zijn gevarieerd.

Eén van de bevindingen tijdens deze studie was dat de GxG combinaties zoals die in de grote Waterwijzer Landbouw database voorkomen niet altijd de praktijkgegevens omvatten. Hierdoor was het niet altijd mogelijk om voor al het landbouwareaal een opbrengstderving vast te stellen. Dit betreft zeer ondiepe GxG combinaties en voornamelijk zeer diepe GxG combinaties. In toekomstige berekeningen om de database op te stellen zal hier nader aandacht aan besteed worden. In de huidige versie van Waterwijzer Landbouw (metarelaties) zijn situaties met omgekeerd peilbeheer niet meegenomen. Hiervoor moet een maatwerkberekening worden toegepast, dan wel moeten er specifieke metarelaties worden afgeleid (voorbeeld: zie hoofdstuk 5 in Knotters et al., 2017).

Gemakshalve hebben we in deze studie het landgebruik steeds beschouwd als of alleen gras of alleen mais. Je zou de opgeleverde informatie (kaarten) dan ook kunnen zien als een vorm van geschiktheidskaarten voor de teelt van gras of mais in de pilotgebieden.

Deze studie heeft niet als doel gehad om Waterwijzer Landbouw te kalibreren of valideren: er is geen vergelijking gedaan met waarnemingen uit het veld. De beperkte vergelijking met de HELP-tabel levert een verschil op, maar deze is verklaarbaar. Naast conceptuele verschillen in beide onderliggende modellen wordt daarnaast gebruik gemaakt van andere invoergegevens (verschillen in klimaat, weer, bodemschematisering) en in de huidige Waterwijzer Landbouw ontbreekt nog de kwantificering van de indirecte schade. In tegenstelling tot Waterwijzer Landbouw kan de HELP-tabel niet worden toegepast om het effect van klimaatscenario's door te rekenen.

Waterwijzer Landbouw is nog in ontwikkeling. Het fundament bestaande uit SWAP-WOFOST en de methodiek om metarelaties af te leiden is voor een groot deel uitgekristalliseerd. Op dit moment wordt gewerkt aan de koppeling met de bedrijfsvoering, zodat in een later stadium ook uitspraken over de indirecte schades gedaan kan gaan worden.

Als er een definitieve versie is van Waterwijzer Landbouw is het opnieuw zinvol om binnen Lumbricus het instrumentarium toe te passen in pilotstudies. Het is immers interessant om te zien of de verbeteringen voor grondwaterstandscombinaties het gewenste effect hebben en ook om WWL toe te passen voor meerdere gewassen, waarbij bovendien indirecte effecten en vertaling naar economische consequenties zijn inbegrepen. Het is immers van belang om te weten of deze verbeteringen ook bij de gebruikers (waterschappen en STOWA) als verbetering worden ervaren.

# LITERATUUR

Bartholomeus, R., J. Kroes, J. van Bakel, M. Hack-ten Broeke, D. Walvoort, & F. Witte. 2013. Actualisatie schadefuncties landbouw; Fase 1. Op weg naar een geactualiseerd en klimaatbestendig systeem van effect van waterbeheer op gewasopbrengst. Overzicht van doorgevoerde verbeteringen in fase 1 (september 2012 – april 2013). Rapport 2013-22, STOWA, Amersfoort.

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. Beschikbaar via: <http://www.wofost.wur.nl>

Bosatlas van het Klimaat. 2011. Noordhoff Uitgevers BV.

Hack-ten Broeke, M., J. van den Akker, W. van Dijk, I. Hoving, H. Vroon & P. van Walsum. 2010. Behoeft en haalbaarheid vervanging HELP-tabellen. Memo, Wageningen UR.

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.

Hazeu, G.W. 2005. Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN5). Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Alterra-rapport 1213, Alterra, Wageningen

HELP-tabel. 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie, Rapport van de werkgroep HELP-tabel. Mededelingen Landinrichtingsdienst 176.

KNMI. 2014. [http://www.klimaatsscenarios.nl/scenarios\\_samengevat/](http://www.klimaatsscenarios.nl/scenarios_samengevat/)

Knotters, M., 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., J.C. van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks & C.M.J. Jacobs. 2009. SWAP version 3.2. Theory description and user manual. Update 02: August 2009. Alterra-rapport 1649(02), Alterra, Wageningen. Beschikbaar via: <http://edepot.wur.nl/176385>

Kroes, J., R. Bartholomeus, J. van Dam, M. Hack-ten Broeke, I. Supit, R. Hendriks, A. de Wit, F. van der Bolt, D. Walvoort, I. Hoving, & J. van Bakel. 2015. Waterwijzer Landbouw, fase 2. Modelleren van het bodem-water-plantsysteem met het gekoppelde instrumentarium SWAP-WOFOST. Rapport 2015-16, STOWA, Amersfoort.

Mulder, H.M. & A.A. Veldhuizen. 2014. AGRICOM 2.01. Theorie en gebruikershandleiding. Alterra-rapport 2576, Alterra, Wageningen. Beschikbaar via: <http://edepot.wur.nl/328377>

van Bakel, J. & G. van den Eertwegh. 2011. Nieuwe mogelijkheden voor herziening van de HELP-tabel. H2O 18: 31-33.

van Bakel, P.J.T., V. Linderhof, C.E. van 't Klooster, A.A. Veldhuizen, D. Goense, H.M. Mulder & H.T.L. Massop. 2009. Definitiestudie AGRICOM. Alterra-rapport 1935, Alterra, Wageningen. Beschikbaar via: <http://edepot.wur.nl/50811>

van Bakel, J., J. Huinink, H. Prak & F. van der Bolt. 2005. HELP-2005. Uitbreiding en actualisering van de HELP-tabellen ten behoeve van het waternood-instrumentarium. Rapport 2005-16, STOWA, Amersfoort.

van Bakel, P.J.T., B. van der Waal, M. de Haan, J. Spruyt & A. Evers. 2007. HELP-2006. Uitbreiding en actualisering van de HELP-2005-tabellen ten behoeve van het waternood-instrumentarium. Rapport 2007-13, STOWA, Amersfoort.

Van der Sluijs, P., 1990. Grondwatertrappen. In: Locher, W.P., Bakker, H.d. (Eds.), Bodemkunde van Nederland. Malmberg, Den Bosch.

Waterschap Vechtstromen. 2017. Achtergronddocument watersysteemanalyse Vecht. Van visie naar Ontwerp. Waterschap Vechtstromen, Almelo.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman & J. Stolte. 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Alterra-rapport 153, Alterra, Wageningen.

Wösten H, F. de Vries, T. Hoogland, H. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers & A. Bolman. 2013. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Alterra-rapport 2387, Alterra, Wageningen.

## BIJLAGE 1

# ANALYSE EFFECT VERSCHILLENDE BODEMPROFIELEN BINNEN EEN BOFEK2012 EENHEID

Binnen studiegebied de Raam komen 17 zand BOFEK2012 (BOFEK) eenheden voor. Hiervan nemen BOFEK eenheden 304 (22.7%), 305 (15.5%) en 311 (13.0%) samen net iets meer dan 50% in van de zandgronden in de Raam (ca. 40% van het totale areaal). Voor elke BOFEK eenheid wordt in Waterwijzer Landbouw standaard een bodemprofiel gehanteerd welke het grootste areaal binnen Nederland betreft. Echter, er zijn meerdere bodemprofielen die tot eenzelfde BOFEK eenheid behoren. In deze memo wordt aan de hand van voorbeeld berekeningen voor de bodemprofielen die behoren tot BOFEK eenheden 304, 305 en 311 nagegaan hoe groot de spreiding in de uitkomsten is binnen elke BOFEK eenheid. Tabel 1 geeft de beschrijving van de bodemprofielen per BOFEK eenheid. Voor de Mualem-van Genuchten parameters van de Staringreeks bouwstenen zijn de door BOFEK geadviseerde waarden gebruikt (veelal de parameters van de eerste Staringreeks uit 1987!). Binnen de eerst 120 cm worden de bovengronden B1, B2 en B3 aangetroffen, en de ondergronden O1, O2, O3, en O5. In twee profielen (8012, 8022) binnen BOFEK eenheid 311 is een (zandig) veenlaag aanwezig (B16).

**TABEL 1**      **BESCHRIJVING BODEMPROFIELEN BINNEN DE DRIE BOFEK EENHEDEN 304, 305 EN 311. GEGEVEN ZIJN DE HORIZONTINDELING IN DIEPTES (CM) MET VERMELDING VAN DE TOEGEWEEZEN STARINGREEKS BOUWSTENEN VOOR BOVEN- (B) EN ONDERGROND (O). DE VETGEDRUKTE BODEMPROFIELNUMMERS WORDEN STANDAARD GEHANTEERD IN BOFEK**

BOFEK eenheid	Bodemprofiel (% areaal binnen BOFEK eenheid)	Profielopbouw					
304	<b>4010</b> (99.6%)	0-25 B2	25-40 O2	40-60 O2	60+	O1	
	4015 (0.4%)	0-25 B3	25-40 O2	40-60 O2	60+	O1	
305	<b>4020</b> (60.1%)	0-25 B2	25-35 O1	35-55 O1	55-90 O1	90+	O5
	4100 (9.1%)	0-25 B2	25-40 B2	40-55 O1	55-90 O1	90+	O5
	10012 (6.4%)	0-20 B2	20-30 B2	30-60 O2	60-90 O1	90+	O5
	10111 (16.2%)	0-25 B2	25-40 O2	40-90 O1	90+	O5	
	10140 (8.3%)	0-25 B2	25-40 O3	40-70 O2	70+	O5	
311	8010 (2.8%)	0-15 B2	15-50 B2	50-70 B2	70+	O1	
	8012 (1.0%)	0-15 B2	15-50 B2	50-70 B16	70+	O1	
	8021 (1.1%)	0-20 B3	20-50 B3	50-70 B3	70-90 O2	90+	O5
	8022 (2.0%)	0-20 B3	20-50 B3	50-70 B16	70+	O3	
	8030 (8.1%)	0-25 B2	25-60 B2	60-75 B2	75-90 O2	90+	O1
	<b>8060</b> (81.4%)	0-25 B2	25-75 B2	75-90 B2	90-105 O2	105+	O1
	8070 (3.6%)	0-25 B2	25-75 B1	75-90 O1	90-105 O1	105+	O5

Er zijn 12 jaren doorgerekend met meteo gegevens voor Arcen. Er is gerekend voor continu gras-teelt of continu maasteelt (met braak in winter). En er is gerekend voor een gemiddelde diepe (120-210 cm -mv; aangeduid met '1') en een gemiddelde ondiepe (0-150 cm -mv; aangeduid met '3') grondwaterstand (aan de onderrand op 500 cm diepte werd een sinusverloop van de drukhoogte in onderliggende aquifer verondersteld met 2 verschillende gemiddelde waarden).



Omdat bodemprofiel 4015 slechts in 0.4% van het totale areaal binnen BOFEK eenheid 304 voorkomt, wordt hieronder verder geen aandacht geschonken aan eventuele verschillen tussen de twee bodemprofielen binnen BOFEK eenheid 304.

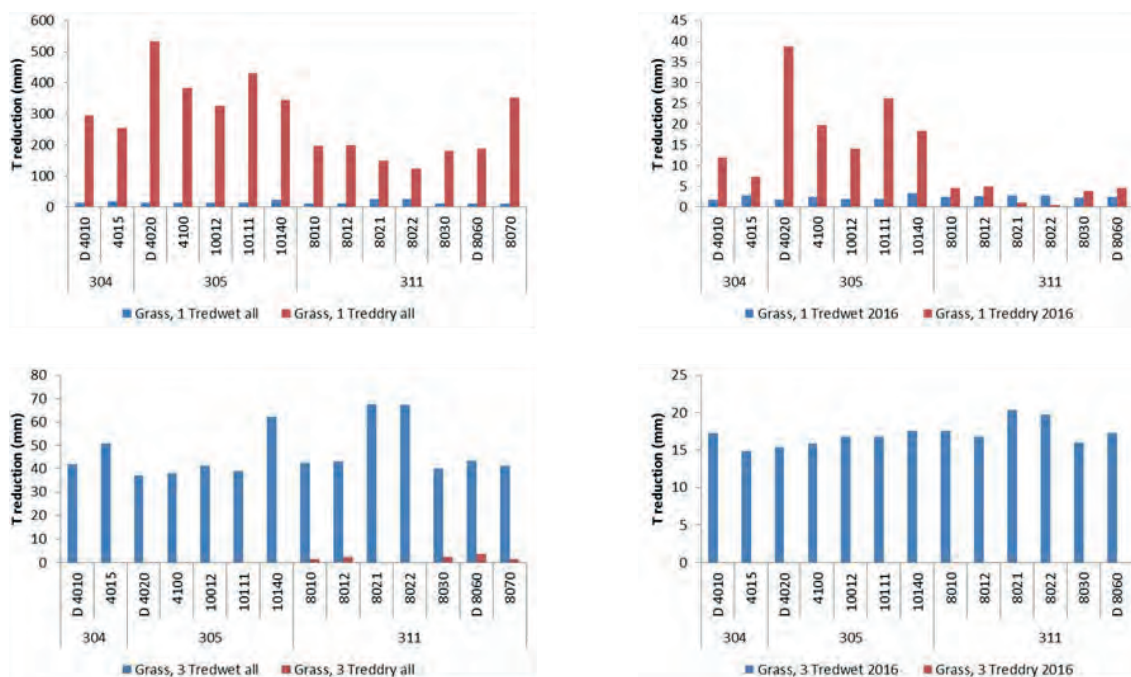
## GRAS

De gesommeerde (12 jaar) transpiratie reductie a.g.v. droogtestress of zuurstofstress, en de reductie in het jaar 2016 is weergegeven in Figuur 1.

Het dominante profiel (4020) geeft de hoogste T reductie, zowel voor alle jaren samen als voor 2016. Het is ruim een factor 1.6 groter dan het profiel met de laagste gesommeerde T reductie. Bodemprofiel 8070 laat relatief meer droogtestress zien dan de overige bodemprofielen voor BOFEK eenheid 311.

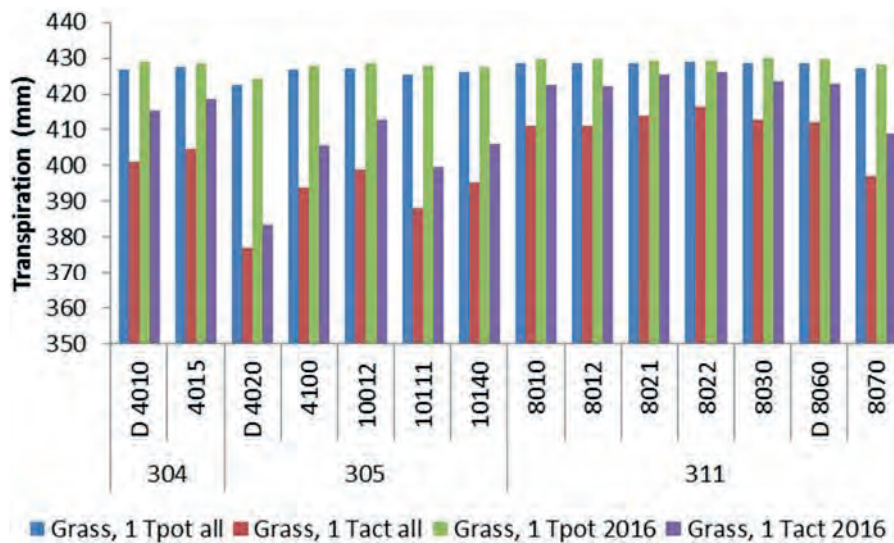
Zuurstofstress treedt in alle profielen op in de situatie met ondiep grondwater. De gesommeerde T reductie is voor een groot deel te wijten aan de reductie die in 2016 is opgetreden. De verschillen tussen de bodemprofielen binnen een BOFEK eenheid is niet erg groot.

FIGUUR 1 TRANSPIRATIEREDUCTIE VOOR GRAS ALS GEVOLG VAN DROOGTESTRESS (ROOD) OF ZUURSTOFSTRESS (BLAUW) GESOMMEERD VOOR ALLE JAREN (LINKER KOLOM) EN VOOR 2016 (RECHTERKOLOM) VOOR DE SITUATIES MET DIEP ('1'; BOVENSTE RIJ) EN ONDIEP ('3'; ONDERSTE RIJ) GRONDWATER VOOR DE BODEMPROFIELEN BEHORENDE BIJ DE 3 BOFEK EENHEDEN

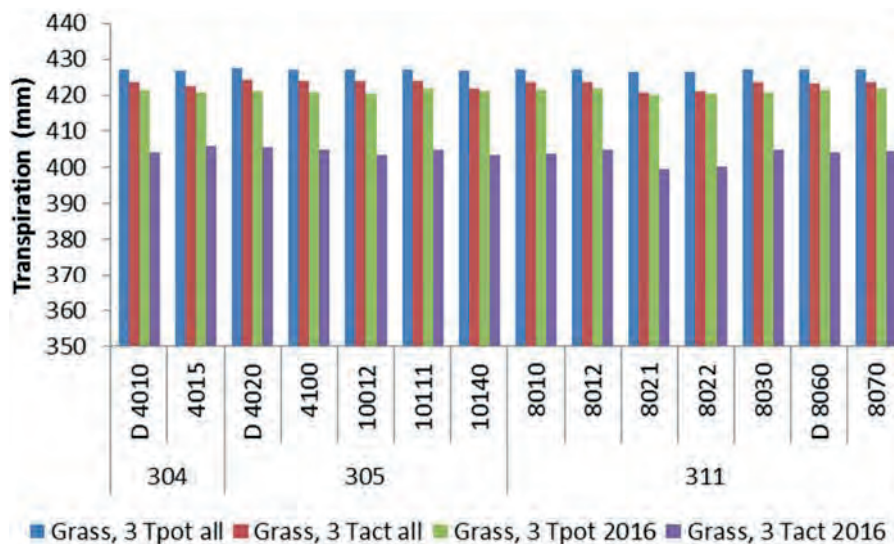


De gemiddelde jaarlijkse transpiratie voor alle jaren is gegeven in Figuur 2, en in Figuur 3 is de transpiratie voor 2016 gegeven.

FIGUUR 2 GEMIDDELDE JAARLIJKSE TRANSPIRATIE (POTENTIEEL, ACTUEEL) VOOR DE 12 GESIMULEERDE JAREN (GRAS) VOOR DE BODEMPROFIELEN BEHORENDE BIJ DE 3 BOFEK EENHEDEN



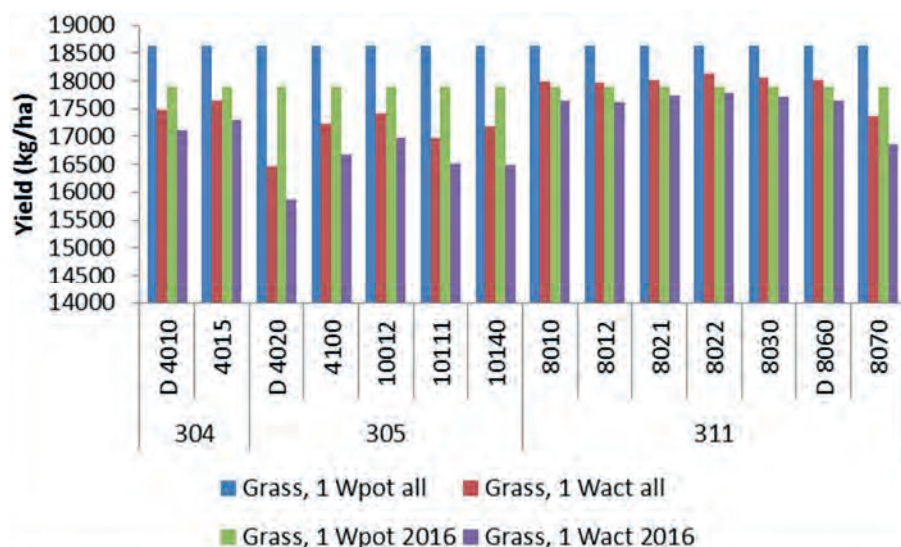
FIGUUR 3 TRANSPIRATIE (POTENTIEEL, ACTUEEL) VOOR 2016 (GRAS) VOOR DE BODEMPROFIELEN BEHORENDE BIJ DE 3 BOFEK EENHEDEN



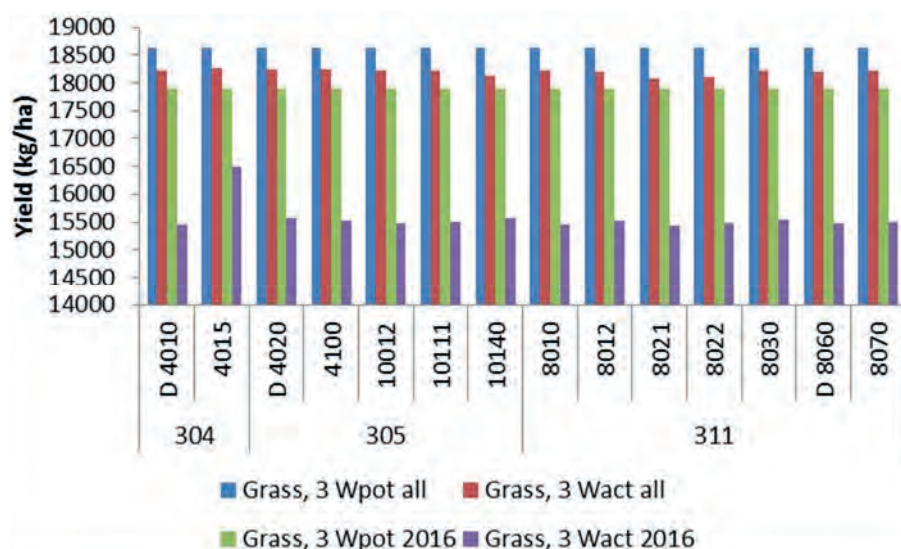
De gemiddelde jaarlijkse maaiopbrengst, en separaat die voor 2016, voor alle jaren is gegeven in Figuur 4 (voor situatie met diep grondwater) en in Figuur 5 (situatie met ondiep grondwater). Voor de situatie met ondiep grondwater valt duidelijk op dat de opbrengst in 2016 sterk is gereduceerd: circa 15500 kg/ha actueel versus 18000 kg/ha potentieel; de verschillen tussen de bodemprofielen zijn zeer gering.

Voor gras is de opbrengstreductie vrijwel identiek aan de transpiratiereductie, zeker voor de situatie met diep grondwater (droogtestress) (Figuur 6); voor de situatie met zuurstofstress is de opbrengstreductie iets groter dan de transpiratiereductie.

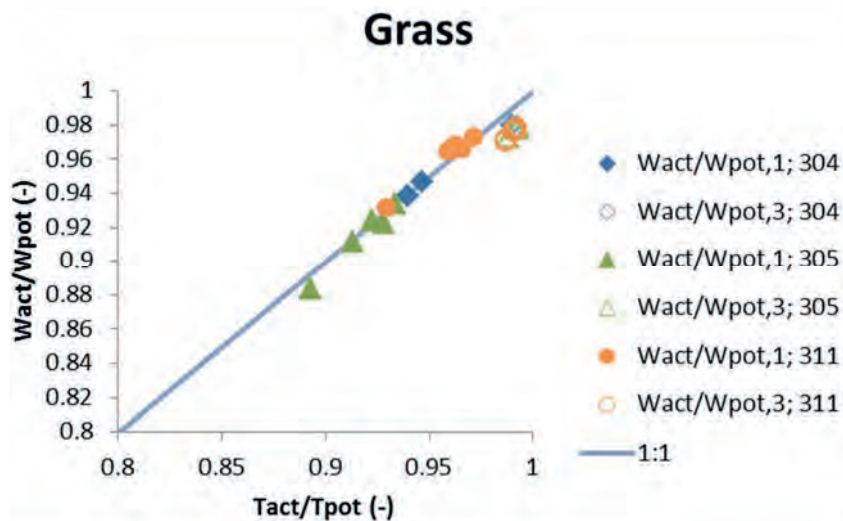
FIGUUR 4 GEMIDDELDE JAARLIJKSE MAAIOPBRENGST (POTENTIEEL, ACTUEEL) VOOR DE 12 GESIMULEERDE JAREN (ALL) EN VOOR 2016 VOOR DE SITUATIE MET DIEP GRONDWATER (GRAS) VOOR DE BODEMPROFIELEN BEHORENDE BIJ DE 3 BOFEK EENHEDEN



FIGUUR 5 GEMIDDELDE JAARLIJKSE MAAIOPBRENGST (POTENTIEEL, ACTUEEL) VOOR DE 12 GESIMULEERDE JAREN (ALL) EN VOOR 2016 VOOR DE SITUATIE MET ONDIEP GRONDWATER (GRAS) VOOR DE BODEMPROFIELEN BEHORENDE BIJ DE 3 BOFEK EENHEDEN



FIGUUR 6 RELATIE VERHOUDING ACTUELE OPBRENGST GEDEELD DOOR POTENTIELE OPBRENGST (GRAS) ALS FUNCTIE VAN DE VERHOUDING ACTUELE TRANSPIRATIE GEDEELD DOOR POTENTIELE TRANSPIRATIE VOOR DE SITUATIES MET DIEP ('1') EN ONDIEP ('3') GRONDWATER VOOR DE BODEMPROFIELEN BEHORENDE TOT DE 3 BOFEK EENHEDEN 304, 305 EN 311



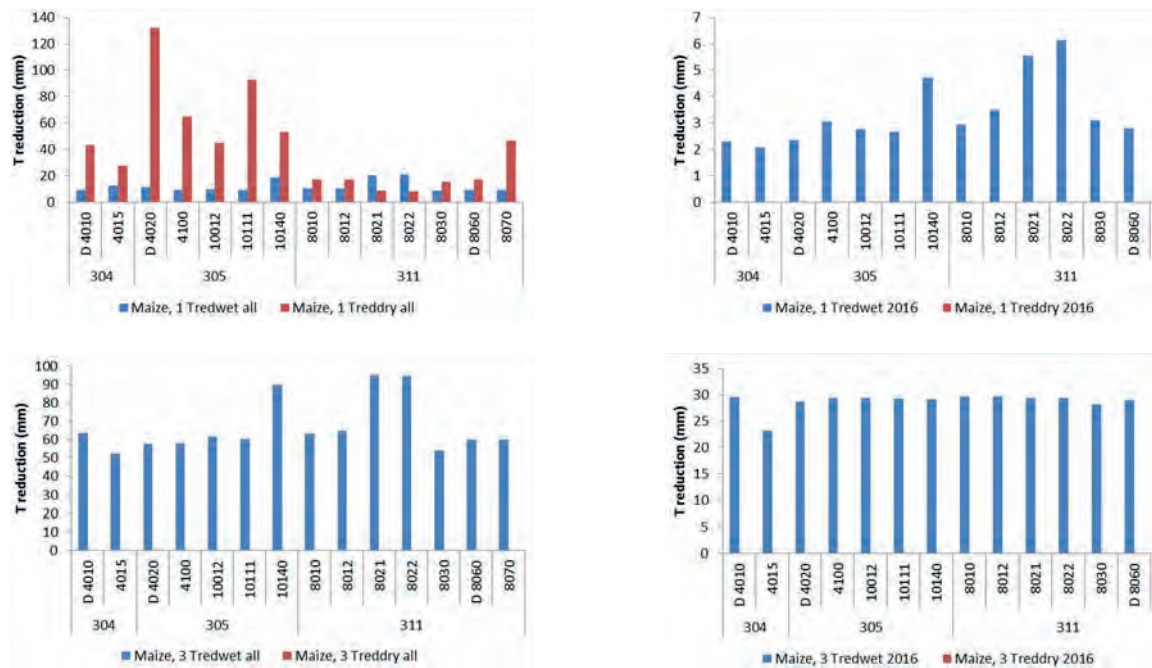
### MAIS

De gesommeerde (12 jaar) transpiratie reductie a.g.v. droogtestress of zuurstofstress, en de reductie in het jaar 2016 is weergegeven in Figuur 7.

Het dominante profiel (4020) geeft de hoogste T reductie, zowel voor alle jaren samen als voor 2016. Het is bijna een factor 3 groter dan het profiel met de laagste gesommeerde T reductie. Bodemprofiel 8070 laat relatief meer droogtestress zien dan de overige bodemprofielen voor BOFEK eenheid 311.

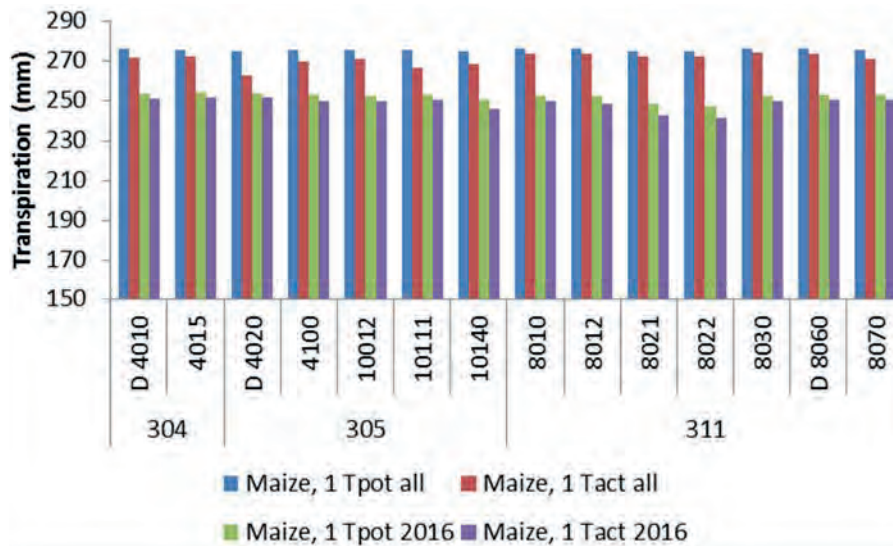
Zuurstofstress treedt in alle profielen op in de situatie met ondiep grondwater. De gesommeerde T reductie is voor een groot deel te wijten aan de reductie die in 2016 is opgetreden. De verschillen tussen de bodemprofielen binnen een BOFEK eenheid is niet erg groot.

**FIGUUR 7** TRANSPIRATIEREDUCTIE VOOR MAIS ALS GEVOLG VAN DROOGTESTRESS (ROOD) OF ZUURSTOFSTRESS (BLAUW) GESOMMEERD VOOR ALLE JAREN (LINKER KOLOM) EN VOOR 2016 (RECHTERKOLOM) VOOR DE SITUATIES MET DIEP ('1; BOVENSTE RIJ) EN ONDIEP ('3; ONDERSTE RIJ) GRONDWATER VOOR DE BODEMPROFIELEN BEHORENDE BIJ DE 3 BOFEK EENHEDEN



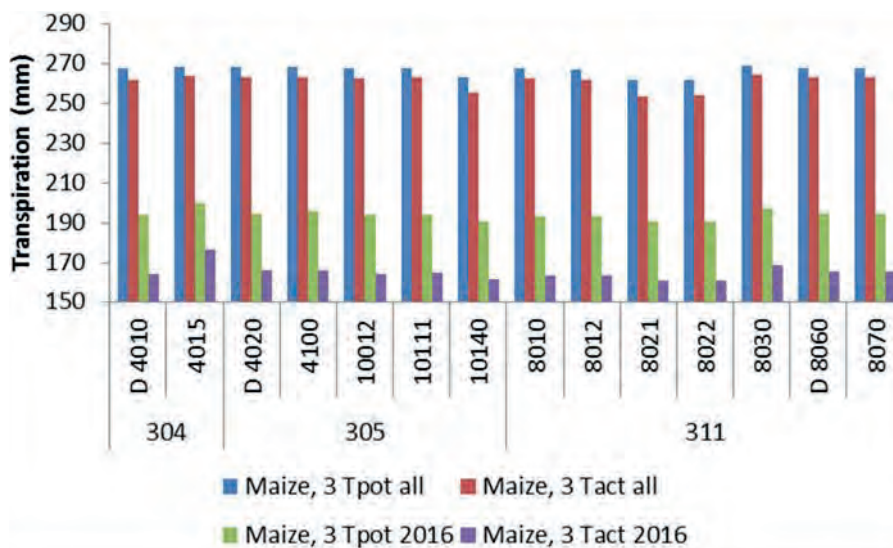
De gemiddelde jaarlijkse transpiratie voor alle jaren is gegeven in Figuur 8, en in Figuur 9 is de transpiratie voor 2016 gegeven.

**FIGUUR 8** GEMIDDELTE JAARLIJKSE TRANSPIRATIE (POTENTIEEL, ACTUEEL) VOOR DE 12 GESIMULEERDE JAREN (MAIS) VOOR DE BODEMPROFIELEN BEHORENDE BIJ DE 3 BOFEK EENHEDEN



FIGUUR 9

TRANSPIRATIE (POTENTIEEL, ACTUEEL) VOOR 2016 (MAIS) VOOR DE BODEMPROFIELEN BEHORENDE BIJ DE 3 BOFEK EENHEDEN

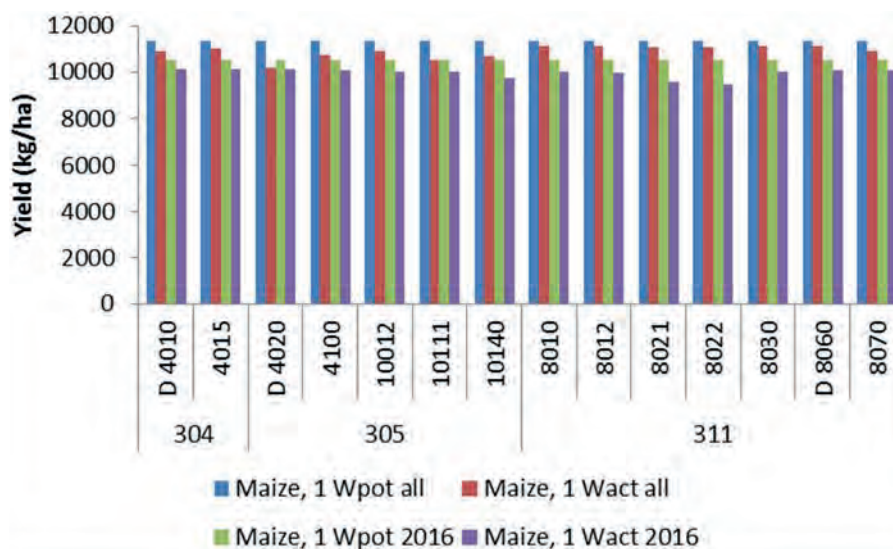


De gemiddelde jaarlijkse mais opbrengst, en separaat die voor 2016, voor alle jaren is gegeven in Figuur 10 (voor situatie met diep grondwater) en in Figuur 11 (situatie met ondiep grondwater). Voor de situatie met ondiep grondwater valt duidelijk op dat de opbrengst in 2016 sterk is gereduceerd: circa 3000 kg/ha actueel versus 10000 kg/ha potentieel; de verschillen tussen de bodemprofielen zijn gering.

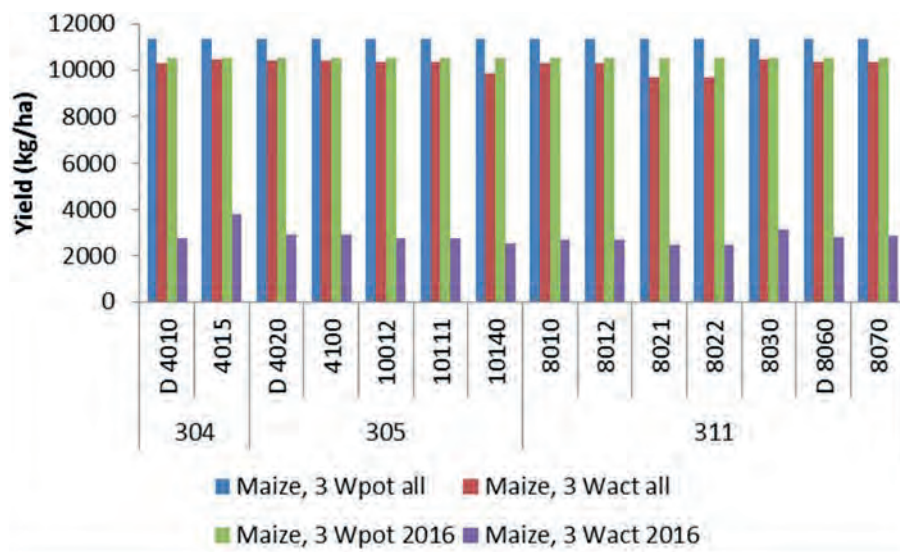
Voor mais is de opbrengstreductie groter dan de reductie in transpiratie (Figuur 12). Er zijn twee vrijwel lineaire relaties te zien, een voor de situatie met diep grondwater en een voor de situatie met ondiep grondwater.

FIGUUR 10

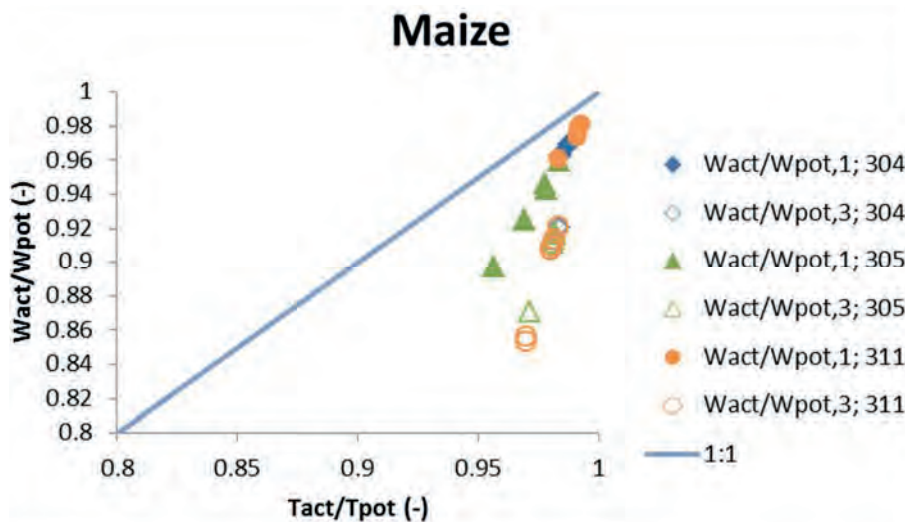
GEMIDDELTE JAARLIJKSE MAAIOPBRENGST (POTENTIEEL, ACTUEEL) VOOR DE 12 GESIMULEERDE JAREN (ALL) EN VOOR 2016 VOOR DE SITUATIE MET DIEP GRONDWATER (MAIS) VOOR DE BODEMPROFIELEN BEHORENDE BIJ DE 3 BOFEK EENHEDEN



FIGUUR 11 GEMIDDELDE JAARLIJKSE MAAIOPBRENGST (POTENTIEEL, ACTUEEL) VOOR DE 12 GESIMULEERDE JAREN (ALL) EN VOOR 2016 VOOR DE SITUATIE MET ONDIEP GRONDWATER (MAIS) VOOR DE BODEMPROFIELEN BEHORENDE BIJ DE 3 BOFEK EENHEDEN



FIGUUR 12 RELATIE VERHOUDING ACTUELE OPBRENGST GEDEELD DOOR POTENTIELE OPBRENGST (MAIS) ALS FUNCTIE VAN DE VERHOUDING ACTUELE TRANSPIRATIE GEDEELD DOOR POTENTIELE TRANSPIRATIE VOOR DE SITUATIES MET DIEP ('1') EN ONDIEP ('3') GRONDWATER VOOR DE BODEMPROFIELEN BEHORENDE TOT DE 3 BOFEK EENHEDEN 304, 305 EN 311



### **ANOVA**

Een eenvoudige ANOVA analyse per BOFEK eenheid is uitgevoerd om na te gaan welke factoren van invloed zijn op de groeireductie. Hierbij zijn alle 12 jaren beschouwd.

#### **304**

Geen significante hoofdeffecten voor gewas, bodemprofiel, en diepte grondwaterstand.

#### **305**

Significant gewas effect ( $P = 0.08$ ), maar geen significante effecten voor bodemprofiel, en diepte grondwaterstand.

Gemiddelde opbrengstreductie: 94.51% voor gras versus 91.69% voor mais (lsd ( $P=0.05$ ) = 3.158.

#### **311**

Significant gewas effect ( $P = 0.005$ ), een significant effect van diepte grondwaterstand ( $P = 0.007$ ), en geen significante effecten voor bodemprofiel.

Gemiddelde opbrengstreductie: 96.84% voor gras versus 93.40% voor mais (lsd ( $P=0.05$ ) = 2.416.

Gemiddelde opbrengstreductie: 96.80% voor diepe grondwaterstand versus 93.44% voor ondiepe grondwaterstand (lsd ( $P=0.05$ ) = 2.416.